

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Інженерно-хімічний факультет
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК 665.666.42

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри
_____ А. І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ 14 ” грудня 2018 р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності **151 – Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології**
(код і назва)

на тему: Система автоматизації процесів очищення бензину від сіркових сполук

Виконав студент II курсу, групи ЛА-72мп
(шифр групи)

_____ Бородін Олексій Іванович _____
(прізвище, ім’я, по батькові) (підпис)

Керівник _____ доцент, к.т.н., доцент Ярошук Л.Д. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Інженерно-хімічний факультет

(повна назва)

Кафедра автоматизації хімічних виробництв

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 151- Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А. І. Жученко
(підпис) (ініціали, прізвище)

«30» жовтня 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Бородіну Олексію Івановичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Система автоматизації процесів очищення бензину від сіркових сполук

науковий керівник дисертації Ярошук Людмила Дем'янівна, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «12» 11 2018р. № 4139-с

2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження Технологічні процеси очищення бензину від сіркових сполук

4. Вихідні дані концентрація меркаптанів на виході з екстрактора №1 не повинна перевищувати 0.005 %, температура на виході з теплообмінника №2 повинна підтримуватись на рівні 60 °С, температура на виході з холодильника №5 повинна підтримуватись на рівні 40 °С, тиск повітря на вході до регенератора №3 треба підтримувати на рівні 0.5 МПа.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: аналіз технологічного процесу очищення бензину від сіркових сполук, аналіз існуючих систем керування екстрактором та реактором, система автоматизації, програмне забезпечення керування процесом екстракції на основі SCADA-системи Trace Mode, дослідження властивостей барботажного реактора, ідентифікація системи

керування барботажним реактором, синтез систем керування для барботажного реактора та екстрактора, стартап-проект

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу Схема автоматизації технологічного процесу, принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунів, аварійного захисту та аварійної сигналізації, схема монтажно-комутаційна до технологічних блокувань двигунів

7. Орієнтовний перелік публікацій Дослідження барботажного реактора як об'єкта моделювання у процесі очищення бензину від меркаптанів; Створення структури імітаційної моделі барботажного реактора у процесі очищення бензину від меркаптанів; Програмне забезпечення для керування екстрактором на основі SCADA-системи Trace Mode; Організація експериментальних досліджень реактора для визначення моделі динаміки

9. Дата видачі завдання _____ 6 листопада 2018 р. _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Аналіз технологічного процесу очищення бензину від сіркових сполук	6.11.18	
2	Проектування системи автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук	13.11.18	
3	Розробка програмного забезпечення керування процесу екстракції на основі SCADA-системи Trace Mode	20.11.18	
4	Дослідження барботажного реактора	27.11.18	
5	Синтез систем керування для барботажного реактора та екстрактора	4.12.18	
6	Оформлення стартап-проекту	11.12.18	
7	Оформлення магістерської дисертації	12.12.18	

Студент

(підпис)

Бородін О. І.
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

Ярошук Л. Д.
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація виконана на тему «Система автоматизації процесів очищення бензину від сіркових сполук», містить 96 сторінок пояснювальної записки, 43 ілюстрації, 26 таблиць, 2 додатка, 3 креслення та 30 бібліографічних найменувань.

Метою проекту є створення системи автоматизації процесів очищення бензину від сіркових сполук.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси очищення бензину від сіркових сполук.

Проведено дослідження процесів очищення бензину від сіркових сполук, спроектовано систему автоматизації, схему дистанційного керування і аварійного захисту та технологічних блокувань, монтажно-комутаційну схему, розроблено програмне забезпечення керування процесом екстракції на основі SCADA-системи TraceMode, проведено дослідження барботажного реактора, ідентифікація системи керування барботажним реактором, виконані процедури з налаштування ПІ та ПІД-регуляторів для системи керування концентрацією NaOH на виході з барботажного реактора, розроблено нечітку систему керування концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора. Розроблено стартап-проект.

Відповідно до теми магістерської дисертації надруковано 4 тези в матеріалах конференцій.

Ключові слова: БЕНЗИН, СІРКОВІ СПОЛУКИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, ЕКСТРАКТОР, БАРБОТАЖНИЙ РЕАКТОР, SCADA-СИСТЕМА, РЕГУЛЯТОР, МАТЛАВ, НЕЧІТКА СИСТЕМА, СТАРТАП ПРОЕКТ

ABSTRACT

The master's dissertation is performed on the theme "Automation of purification of gasoline from sulfur compounds processes", contains 96 pages of explanatory note, 43 illustrations, 26 tables, 2 appendixes, 3 drawings and 30 bibliographic titles.

The purpose of the project is to create a system for the automation of gas purification processes from sulfur compounds.

The object of research is the technological processes of purifying gasoline from sulfur compounds.

The processes of purification of gasoline from sulfur compounds, automation systems, remote control and emergency protection and technological blocking schemes, the scheme of installation and switching, the software for managing the withdrawal process on the basis of SCADA developed the system TraceMode, investigated the bubble reactor, identified the reaction systems of bubbling control, described the procedures for regulating PI and PID the NaOH concentration regulators at the exit from the bubble reactor, the concentration of the unmatched control systems is assimilated The concentration of sulfur compounds on leaving the extractor. The launch project is being developed.

On the theme of the master's dissertation, 4 theses were published at the conference.

Keywords: GASOLINE, SULFUR COMPOUNDS, AUTOMATION, EXTRACTOR, BUBBLE REACTOR, SCADA-SYSTEM, REGULATOR, MATLAB, FUZZY LOGIC SYSTEM, START-UP PROJECT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК.....	11
1.1. Фізико-хімічні основи та технологія процесу очищення бензину від сіркових сполук.....	11
1.2. Дослідження екстрактора в процесі очищення бензину від сіркових сполук.....	13
1.3. Опис існуючих систем автоматичного керування екстрактором.....	14
1.4. Принцип побудови барботажного реактора.....	23
1.5. Аналіз реактора в процесі очищення бензину від сіркових сполук.....	25
1.6. Опис існуючих систем автоматичного керування реактором.....	28
1.7. Постановка задачі магістерської дисертації.....	32
2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК.....	34
2.1. Параметри контролю та керування виробництва.....	34
2.2. Опис схеми автоматизації.....	36
2.3. Опис систем технологічної сигналізації.....	39
2.4. Опис систем аварійного захисту.....	40
2.5. Опис систем технологічного блокування.....	41
2.6. Опис систем дистанційного керування електродвигунами.....	42
2.7. Опис монтажно-комутаційної схеми.....	43
2.8. Опис мікропроцесорної та вимірювальної техніки.....	44
2.9. Розробка програмного забезпечення для керування процесом екстракції на основі SCADA-системи TraceMode.....	49
Висновки до розділу 2.....	55

3. ДОСЛІДЖЕННЯ БАРБОТАЖНОГО РЕАКТОРА У ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК.....	56
3.1. Основи математичного моделювання барботажного реактора аналітичним методом.....	57
3.2. Організація експериментальних досліджень барботажного реактора.....	61
3.3. Обробка експериментальних досліджень барботажного реактора.....	64
3.4. Дослідження властивостей каталізатора.....	67
Висновки до розділу 3.....	69
4. СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАРБОТАЖНИМ РЕАКТОРОМ ТА ЕКСТРАКТОРОМ.....	70
4.1. Налаштування регулятора для системи керування барботажним реактором.....	70
4.2. Розробка нечіткої системи керування концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора.....	74
Висновки до розділу 4.....	80
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	81
5.1. Ідея та опис стартапу.....	81
5.2. Аудит динаміки та тенденції ринку нафтопереробки.....	82
5.3. Аналіз маркетингового середовища.....	83
5.3.1. Аналіз внутрішнього середовища.....	83
5.3.2. Аналіз зовнішнього середовища.....	85
5.3.3. Аналіз факторів мікроринкового середовища.....	87
5.4. Конкурентний аналіз компанії.....	89
5.5. Ринкові стратегії стартап-проекту.....	90
Висновки до розділу 5.....	91
ВИСНОВКИ.....	92
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	93
ДОДАТКИ.....	97
Додаток 1. Експериментальні дані.....	98
Додаток 2. Специфікація технічних засобів автоматизації.....	102

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

RSH – меркаптани

САК – система автоматичного керування

SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition (диспетчерське керування та збір даних)

FBD - Functional block diagram (мова функціональних блоків)

ВСТУП

У нинішній час уявити світ без транспорту вже неможливо. Головним видом палива для нього є бензин. Бензином прийнято називати фракції сирої нафти або продуктів крекінгу, що переганяють за температури не вище 200 – 205 °С [1]. Кількість сіркових домішок, які містяться у бензині, визначають його якість. Однією з основних таких домішок є меркаптани (тіоли) – сіркові аналоги спиртів загальної формули RSH , де R – алкільний радикал [2]. Вони є корозійними з'єднаннями, які природно присутні у вуглеводневій сировині, або ж з'являються в нафтопродуктах в результаті переробки сірковмісної сировини на нафтопереробних заводах. Ці сполуки мають різкий неприємний запах та мають дуже високу токсичність навіть при малих концентраціях [3]. Меркаптани здатні конденсуватися з вуглеводнями з утворенням смолоподібних продуктів. Досліди показали, що незначна кількість меркаптанів у бензині може значно збільшити смолоутворення. Тому особливу увагу при очищенні слід приділяти видаленню меркаптанів, не тільки через їх корозійні властивості, а й тому що ці сполуки здатні приводити до смолоутворення в бензинах [1]. Октанове число бензину (детонаційна стійкість палива) збільшується зі зменшенням меркаптанів у ньому.

Очищення бензину найчастіше відбувається шляхом використання процесу екстракції - витягування домішок з однієї речовини в іншу. Екстракційні методи вилучення, концентрування і розділення мають низку переваг в порівнянні зі застарілими методами фільтрації та осадження:

- 1) проведення багатоступінчастого процесу поділу та висока селективність екстрагентів призводить до високої чистоти кінцевих продуктів;
- 2) безперервність процесів можна забезпечити в нескладних по конструкції апаратах;
- 3) отримання малих концентрацій домішок і стає можливим переробляти бідні вихідні матеріали;

4) відбувається спрощення технологічної схеми та зниження кількості стадій очищення;

5) вилучення цінних компонентів істотно підвищується і становить близько 99 %;

6) процес здійснюється найчастіше при кімнатній температурі і нормальному тиску;

7) оздоровлення умов праці;

8) побудова сучасних технологічних схем може бути здійснена з повною автоматизацією і механізацією ;

9) стає можливим побудова технологічних схем без небезпечних викидів, що важливо для збереження навколишнього середовища [4].

Використання автоматизації у сучасному світі вже стало необхідністю. Системи автоматичного керування (САК) – це сукупність математичних методів, технологічних засобів та їх програмне забезпечення і організація комплексів, що забезпечують керування та контроль параметрів об'єктів, що автоматизуються у відповідності з поставленою задачею [5].

Завданням магістерської дисертації є дослідження процесу очищення бензину від сіркових сполук, розробка системи автоматизації та проведення процесу з використанням ресурсозбереження та забезпеченням якості продуктів відповідно до стандартів.

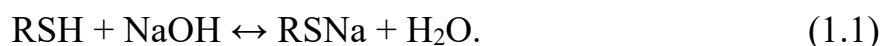
1. ТЕХНОЛОГІЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК

1.1. Фізико-хімічні основи та технологія процесу очищення бензину від сіркових сполук

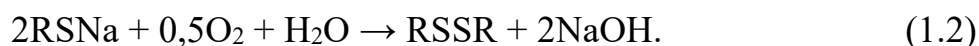
Технологічну схему процесу очищення бензину від сіркових сполук зображено на рис. 1.1.

Технологію можна розділити на два основні етапи: очищення бензину та регенерація лужного розчину.

Початком процесу очищення бензину є те, що бензин та лужний розчин надходять до екстрактора 1. Бензин до нижньої частини, а лужний розчин до верхньої відповідно. В результаті змішування цих речовин відбувається очищення, яке проходить за наступною оборотною реакцією:



Густини бензину та лужного розчину відрізняються. Бензин має меншу густину ніж лужний розчин і завдяки цьому він піднімається догори, і після цього надходить на компаундування – підвищення октанового числа бензину шляхом додавання спеціальних компонентів. Лужний розчин, насичений меркаптидами опускається донизу, де виводиться з екстрактора та надходить до теплообмінника 2, де підігрівається до 60°C для того, щоб наступні реакції проходили швидше. Після цього він надходить до барботажного реактора 3. До барботажного реактора також відбувається подача розрахункової кількості повітря під тиском 0,5 МПа. В барботажному реакторі на поверхні каталізатора відбувається регенерація луку, яка проходить за наступною реакцією.



В результаті з верху реактора суміш відпрацьованого повітря, регенованого лужного розчину та дисульфідів надходить до сепаратора 4, де відбувається відділення повітря через каплевідбійник.

Регенований лужний розчин з дисульфiдами – нетоксичнi та без сильного запаху сполуки, вiдводиться з сепаратора та змiшується з бензиновою фракцiєю. Це робиться для того, щоб потiм легше вiдбувався процес роз'єднання лужного розчину та дисульфiдiв. Сумiш насиченої дисульфiдами бензинової фракцiї та лужного розчину надходить до холодильника 5, де охолоджується до 40°C i пiсля цього надходить до сепаратора дисульфiдiв 6. З верху сепаратора вiдводиться насичена дисульфiдами бензинова фракцiя, а з низу – регенований лужний розчин. Пiсля чого вiн надходить до екстрактора i процес починається з початку [6].

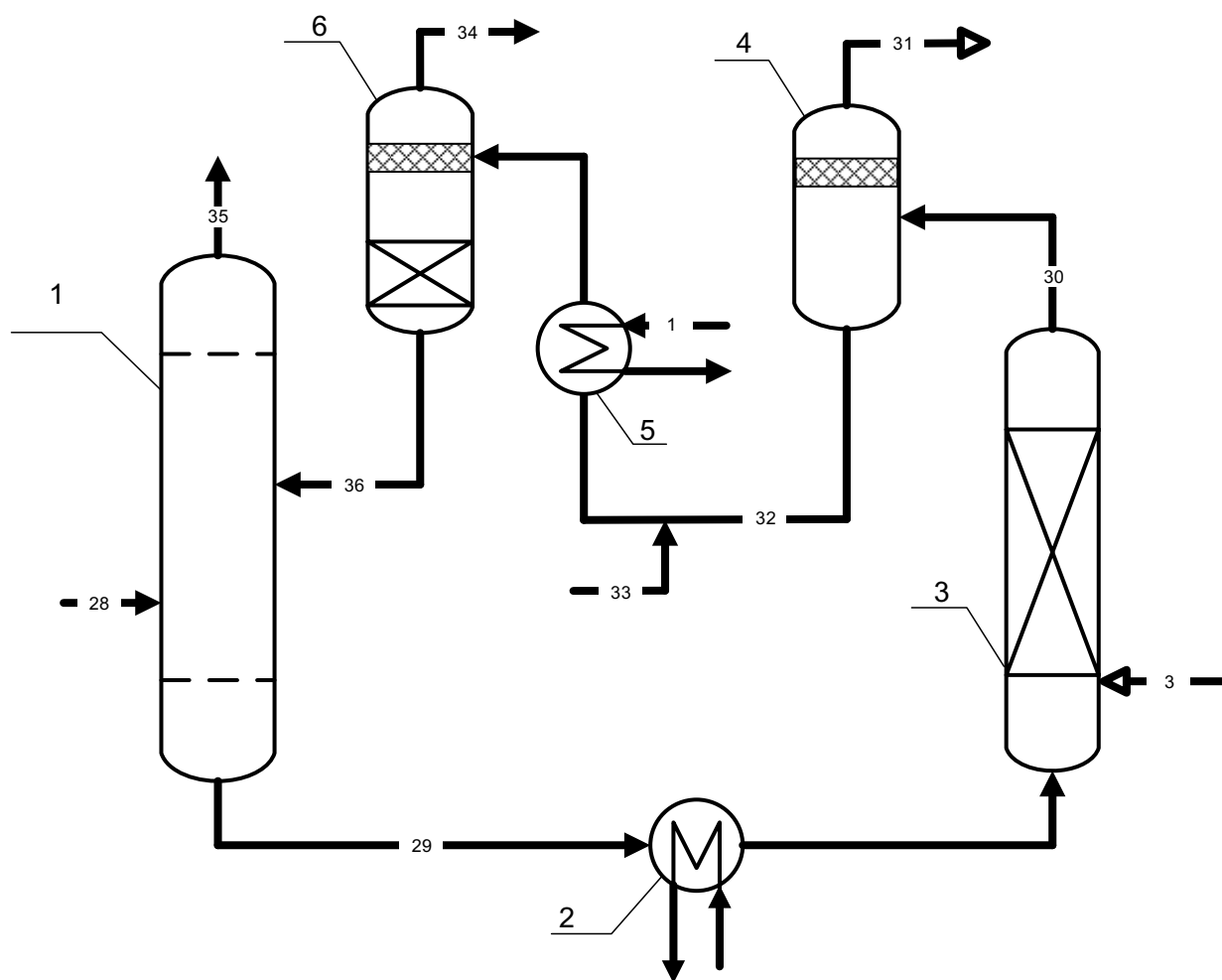


Рис. 1.1. Схема автоматизації очищення бензину від сіркових сполук: 1 – екстрактор; 2 – теплообмінник; 3 – барботажний реактор; 4 – сепаратор повітря; 5 – холодильник; 6 – сепаратор дисульфідів; 28 – легка бензинова фракція; 29 – насичений меркаптидами лужний розчин; 30 – суміш повітря, регенованого розчину та дисульфідів; 31 – відпрацьоване повітря; 32 – суміш регенованого лужного розчину та дисульфідів; 33 – бензин; 34 – насичена дисульфiдами бензинова фракція; 35 – очищений бензин; 36 – регенований лужний розчин

1.2. Дослідження екстрактора в процесі очищення бензину від сіркових сполук

За кількістю продукції екстрактор відноситься до малотонажного апарату. За характером часу режиму функціонування екстрактор – апарат неперервної дії. Це передбачає, що на вхід апарату неперервно подаються вхідні реагенти, а на виході апарату неперервно відводяться вихідні продукти. Технологічний процес проходить в установленому режимі.

У процесі очищення бензину від сіркових сполук екстрактор виступає в ролі основного апарату процесу, тому що безпосередня очистка бензину відбувається в ньому.

За характером параметрів керування екстрактор по висоті – до апаратів з розподіленими параметрами, а по ширині відноситься до апаратів з зосередженими параметрами.

По типу технологічного процесу в екстракторі проходять хімічні процеси – в яких утворюються нові речовини, які відрізняються від вихідних по хімічному складу або будові і при збереженні загального числа атомів [7].

Забезпечення певних норм наступних параметрів процесу таких, як витрата лужного розчину NaOH та бензину і склад лужного розчину NaOH призводить до найбільшої ефективності процесу. Проаналізуємо зазначені впливи.

На кінцеву концентрацію меркаптанів у бензині впливають такі фактори як витрата лужного розчину, яка залежить від кількості меркаптанів у бензині та витрата самого бензину. Проходження оборотної реакції екстракції залежить від необхідної подачі реагуючих компонентів у співвідношенні бензин : лужний розчин = 2 : 1, але це співвідношення може змінитись через кількість меркаптанів в бензині.

Склад лужного розчину безпосередньо впливає на швидкість реакції очищення бензину від сіркових сполук, оптимальний складом становить 10 % NaOH, 89,9 % вода, 0,1 % меркаптани. Відхилення від рівноваги призведе до

більш низького значення оптимального співвідношення внаслідок впливу кінетичних факторів. При дотриманні вище згаданих співвідношеннях у промислових умовах спостерігається максимальна швидкість реакції. Тому відхилення складу від оптимального співвідношення у промислових умовах у колонах екстракції призведе до погіршення якості кінцевого продукту.

Отже необхідно розробити систему автоматизації, яка б керувала подачею лужного розчину в залежності від концентрації сіркових сполук на виході з екстрактора. Ця система дозволить очистити бензин до потрібних норм та більш ефективно використовувати лужний розчин.

Бензин – шкідлива та вибухонебезпечна речовина, тому існує необхідність встановити системи захисту та пожежну сигналізацію [8], а також забезпечити працівників персональними засобами захисту та встановити систему вентиляції.

1.3. Опис існуючих систем автоматичного керування екстрактором

Найбільше поширення в хімічній технології мають наступні масообмінні процеси такі, як екстракція, абсорбція, сушка, кристалізація, ректифікація, адсорбція. Однією з особливостей масообмінних процесів є те, що прояв випадкових впливів в результаті порушує матеріальні і теплові баланси, змінюються тиск і температура, що призводить до порушення якості і складу одержуваних продуктів. Тому стабілізація режимних параметрів є одним з основних завдань регулювання масообмінних процесів, вирішення яких дозволяє зберегти теплові та матеріальні баланси.

Більшість масообмінних процесів зазвичай відбуваються в великогабаритних апаратах колонного типу (висота дорівнює кільком десяткам метрам, а діаметр таких апаратів досягає кілька метрів), тому повністю природно, що сталі часу і запізнювання таких апаратів становлять десятки хвилин. Якщо регулювання масообмінних процесів відбувається за рахунок одноконтурних систем регулювання, то їх характерними рисами будуть велика

довжина перехідних процесів і велика максимальна помилка. Використання комбінованих САК (система автоматичного керування) для регулювання масообмінних процесів, значно підвищує якість перехідних процесів. Комбінованим САК властиво введення корекції за найбільшим збуренням, а також каскадні САК, в яких застосовуються додаткові сигнали з проміжних частин масообмінних апаратів [9].

У роботі [10] наведена система регулювання екстракційною колоною рис 1.2.

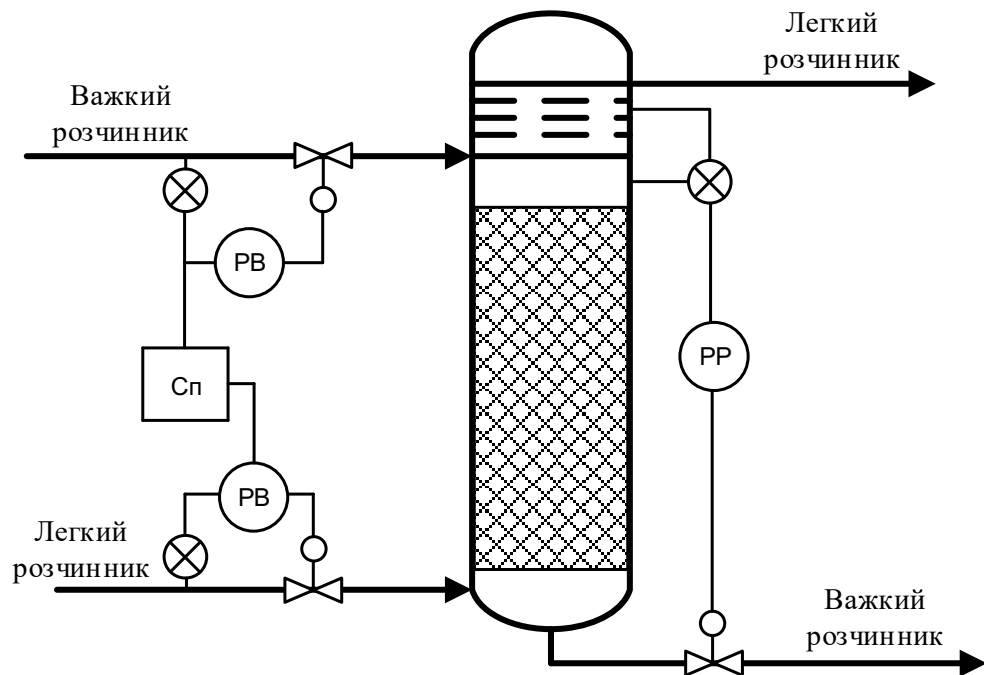


Рис. 1.2. Система автоматичного керування екстракційною колоною: РВ – регулятор витрати; Сп – регулятор співвідношення; РР – регулятор рівня

Рівновага концентрації речовини, що екстрагується в двох вихідних потоках буде досягнута, якщо екстракція здійснюється шляхом однократного контакту фаз. Допустимо, що речовина, розчинена у розчиннику A , екстрагується розчином B . Позначимо через x_1 залишкову концентрацію речовини в рафінаті A , а через y_1 – його концентрацію в екстрагенті B . Тоді рівняння рівноваги буде мати вигляд:

$$x_1 = Ky_1, \quad (1.3)$$

де K – константа рівноваги.

Для розглянутої степені контакту фаз рівняння матеріального балансу буде мати наступний вигляд:

$$A(x_0 - x_1) = B(y_1 - y_0), \quad (1.4)$$

де A та B – відповідно масові витрати розчинників; x_0 та y_0 – склад рідини, яка екстрагується, в потоках цих розчинників на вході в апарат.

Якщо змінюється витрата речовини A , регулювання концентрації розчиненої речовини, що екстрагується x_0 в екстракті, зазвичай відбувається за рахунок зміни витрати екстрагенту B . З рівнянь (1.3) та (1.4) випливає наступна залежність між величинами B та y_1 :

$$B = A \left(\frac{x_0 - Ky_1}{y_1 - y_0} \right), \quad (1.5)$$

Як видно з рівняння (1.5) між витратою початкового розчину A та змінною витратою екстрагенту B існує лінійна залежність, що є особливістю цього рівняння. Регулювання процесу екстракції завжди відбувається за рахунок підтримки певного співвідношення потоків A та B .

Багатоступенева екстракція може здійснюватися за рахунок використання декількох змішувальних апаратах з відстійними камерами, які використовуються для поділу розчинників при їх зустрічному русі. Нерідко для проведення процесу екстракції використовують насадкові колони, в яких екстрагент і вихідна суміш рухаються протитечією. Різниця щільності розчинників впливає на швидкість розчинника з меншою щільністю який подається в нижню частину колони і переміщується вгору.

За рахунок підтримки рівня рідини і поверхні розподілу фаз в екстракційній колоні, відбувається забезпечення визначених кількостей обох розчинників. На рис. (1.2) наведено принципова схема регулювання стандартної екстракційної колони. За рахунок величини підйомної сили, що діє на чутливий елемент поплавкового рівнеміра або через перепад тиску в двох розташованих

на різній висоті точках екстракційної колони, можна визначити місце поверхні розділу між двома розчинниками. У кожному з цих методів вихідний сигнал приладу пропорційний середній щільності речовини, що знаходиться в об'ємі колони, розташованому між точками відбору імпульсів.

Ще одна система регулювання екстракційною колоною наведена у роботі [11]. Задане значення концентрації речовини, що екстрагується в рафінаті, є основним завданням, яку повинна забезпечити система управління процесом рідинної екстракції. Процес екстракції відбувається в насадкових колонах рис. 1.3. Вхідний розчин надходить до верхньої частини колони і рухається по насадці вниз, віддаючи речовину, що екстрагується екстрагенту, який рухається в догори. За результатами цієї операції на виході отримують екстракт (розчин витягнутих речовин в екстрагенті) і рафінат (розчин із залишковою концентрацією речовини, що екстрагується).

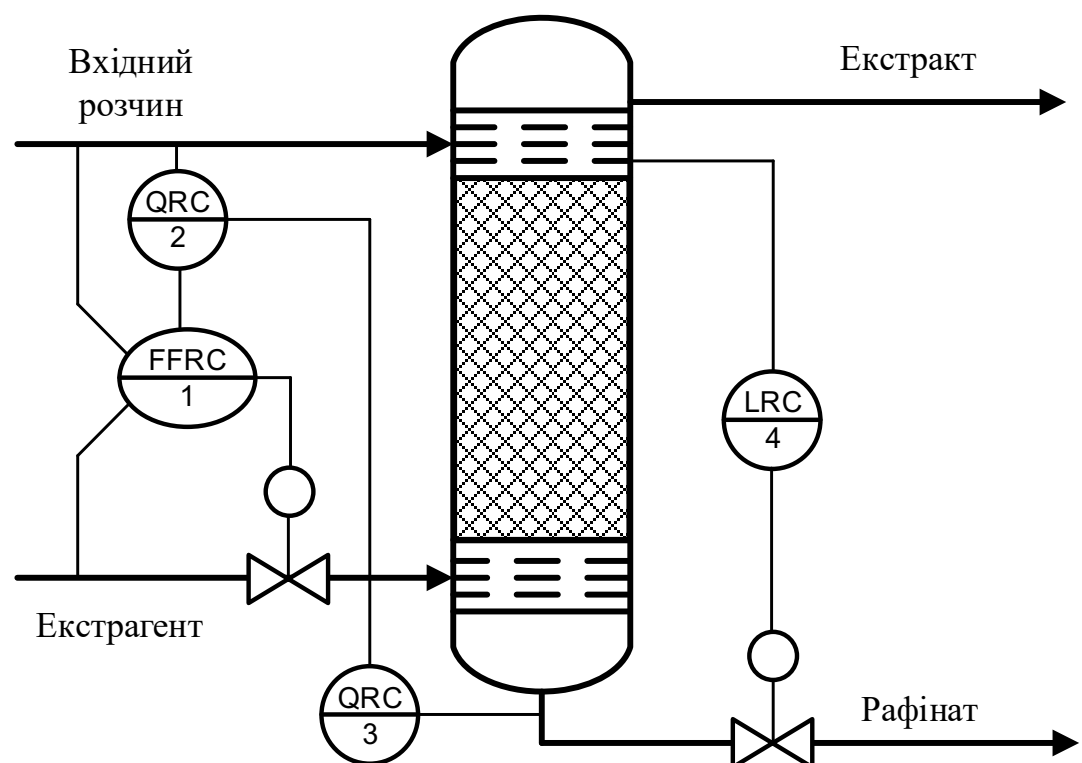


Рис.1.3. Схема автоматизації процесу екстракції:
1 – каскадна система співвідношення витрат; 2, 3 – вимірювач складу речовини; 4 – регулятор рівня

Каскадна система регулювання використовується при змінній витраті та складі вхідного розчину зі співвідношенням витрат 1 вхідного розчину і екстрагента з корекцією, що враховує склад речовин, що екстрагуються в початковому розчині 2 і рафінаті 3. Регулювання рівня поверхні поділу фаз 4, здійснюється за рахунок зміни відведення рафінату з колони.

У роботі [12] наведені схеми автоматизації абсорбера. Екстрактор за своїм використанням дуже схожий на абсорбер. Але між ними існує різниця, а саме в тому, що в екстракторі поглинання екстракту проходить за допомогою використання іншої рідини, а в абсорбері – газу. Тому використання запропонованих схем керування абсорбером може бути використано і для екстрактора.

Сутність процесу полягає в тому, що один або декілька компонентів з вихідної газової суміші поглинаються спеціальним розчинником (абсорбентом). Зменшення частини компоненту, що абсорбується з газового потоку або повна очистка від нього з вихідного потоку є головною метою цього процесу. Якщо поставлена перша задача, тоді метою є отримання на виході з абсорбера розчин, який має певну концентрацію (наприклад, одержання соляної кислоти з певною концентрацією при поглинанні водою газоподібного хлористого водню). Якщо ж поставлена друга задача, тоді метою виступає досягнення необхідного рівня очищення газової суміші від певного компонента, який визначається допустимою залишковою концентрацією його в газовій суміші на виході з абсорбера. До основних умов, які зумовлюють проходження процесу абсорбції належать наступні: тиск, співвідношення витрат абсорбенту та компонента, що поглинається газового потоку, температура.

Основними збуреннями для вищерозглянутого процесу будуть зміна навантаження абсорбера по компоненту, який абсорбується з газової суміші (через зміну витрати вихідної суміші або внаслідок зміни її концентрації), а також зміни температури і тиску в абсорбері. Головним збуренням є зміна навантаження на абсорбер, через те, що це призводить до порушення

матеріального балансу апарату, і в результаті відбувається зміна концентрації кінцевого продукту. Зміна швидкості процесу абсорбції, також можлива за рахунок зміни тиску і температури.

Отже, підтримка заданих оптимальних значень тиску і температури в абсорбері та підтримка його матеріального балансу по компоненту, який поглинається, газової суміші є метою системи керування процесом абсорбції.

До основних регульованих абсорбера належать наступні: температура в робочій зоні, тиск в апараті, витрата газу і робочого розчину, концентрація робочого розчину або концентрація компонента, що поглинається в газовому потоці на виході з апарату.

Для стабілізації тиску рис. 1.4 застосовують регулятор 1, який впливає на клапан, встановлений на лінії відпрацьованих газів. В більшості випадків зміни тиску в апараті при нормальному режимі роботи бувають викликані витоками газу. Отже, збурення для САК тиску монотонні і незначні за амплітудою. Тому П-регулятор якнайкраще підходить в якості регулятора тиску.

Стабілізація температури абсорбенту на вході в абсорбер зумовлює підтримку заданої температури в абсорберах насадкового і тарілкового типу. Як правило зміни температури в робочій зоні абсорбера несуттєві і відпадає необхідність в автоматичному регулюванні.

САК концентрації компонента, що абсорбується є основою при автоматизації абсорберів. Завданням САК є підтримка матеріального балансу об'єкта по компоненту, що поглинається, шляхом зміни витрати абсорбенту. На рис. 1.4. показана схема одноконтурної САК концентрації робочого розчину, в якій показання концентратоміра робочого розчину впливають на регулятор 2, який змінює витрату абсорбенту. Також виникає необхідність у підтримці матеріального балансу абсорбера по робочому розчину, що досягається використанням регулятора рівня 3, який встановлений в нижній частині абсорбера. Регулювання концентрації відбувається за рахунок регулятора 3,

який змінює витрату робочого розчину на виході з апарату, при зміні витрати абсорбенту, в результаті чого рівень залишається постійним.

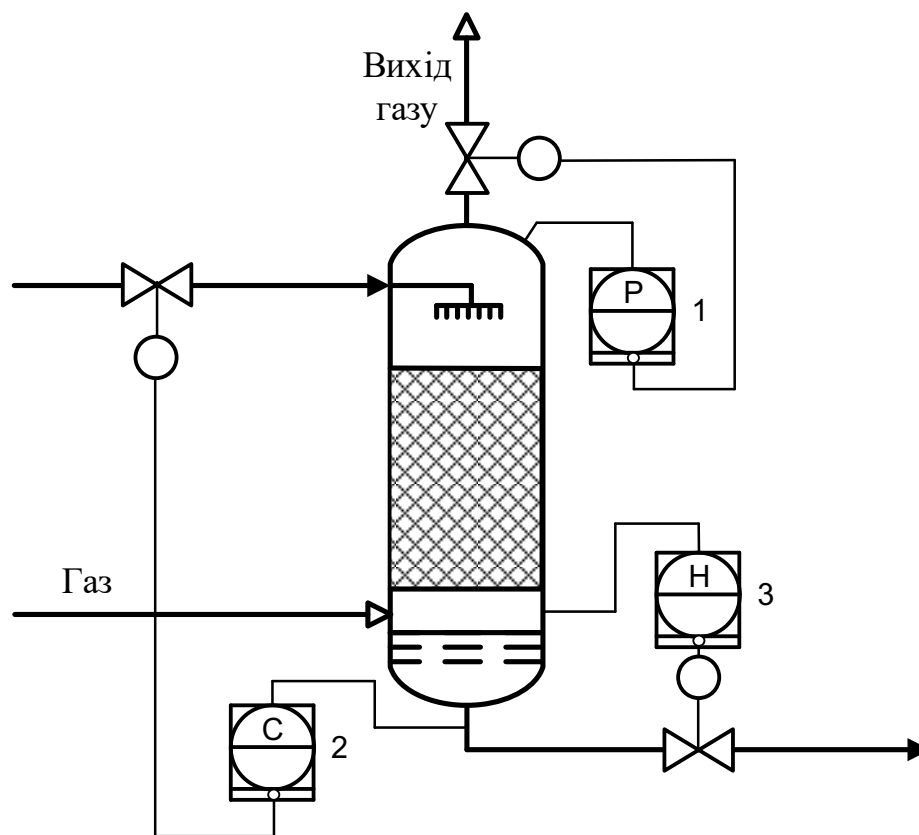


Рис. 1.4. Принципова схема автоматизації абсорбера:
1 – регулятор тиску; 2 – регулятор концентрації; 3 – регулятор рівня

Абсорбер, як об'єкт регулювання, по каналу «витрата абсорбенту - концентрація» має значну інерційність і запізнення, особливо це має прояв у великогабаритних апаратів насадкового і тарілкового типу. Схема керування концентрації, яка була описана вище, не завжди може забезпечити необхідну якість керування. У цих випадках рис. 1.5. витрата абсорбенту стабілізується регулятором витрати 1, завдання для якого встановлюється коригувальним регулятором 2, яке залежить від концентрації вихідного компонента в робочому розчині на виході апарата. Призначення регулятора 3 таке ж, що і в схемі на рис. 1.4.

Застосування комбінованої САК виявляється доцільним у випадку постійних і значних збуреннях по витраті і складу вихідної газової суміші. На

рис. 1.6. показано варіант системи, розрахованої на компенсацію збурень по витраті газу.

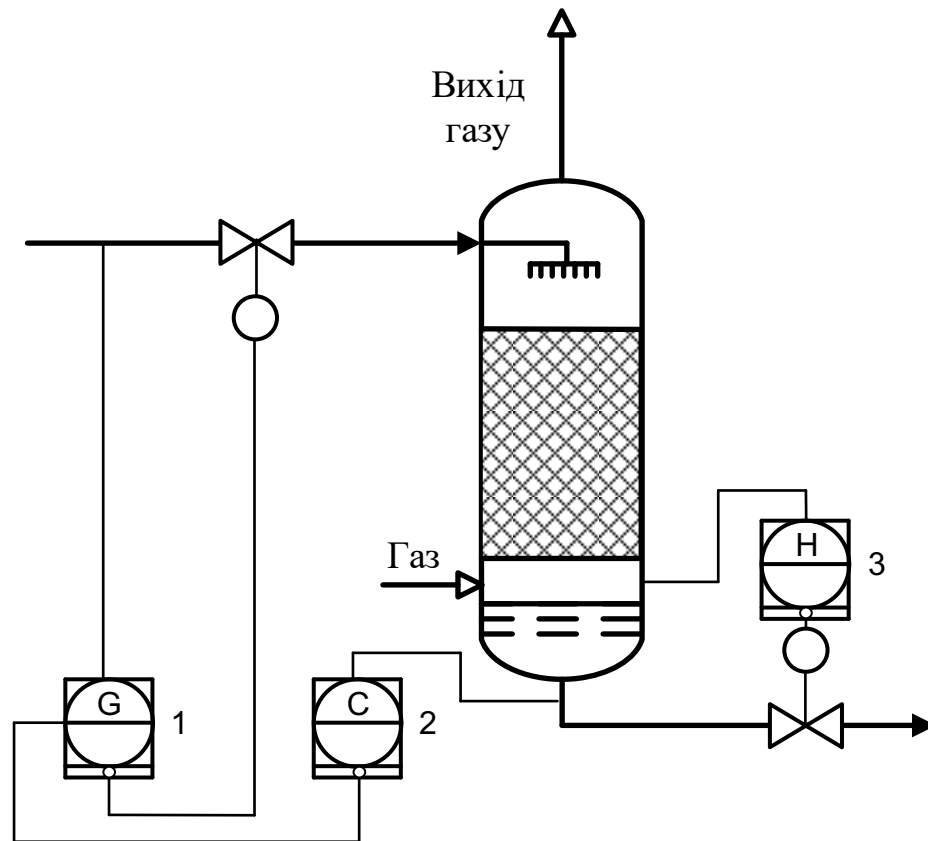


Рис. 1.5. Принципова схема автоматизації абсорбера з використанням двоконтурної САК концентрації робочого розчину: 1 – регулятор витрати; 2 – регулятор концентрації; 3 – регулятор рівня

Регулятор співвідношення 1, виступає головним елементом, що корегує витрату абсорбенту в залежності від витрати газової суміші. Регулятор концентрації 2 змінює завдання для регулятора співвідношення в залежності від концентрації готового розчину. Регулятор 3 підтримує рівень робочого розчину постійним.

Якщо отримання певного компонента з вихідної газової суміші до певної кінцевої концентрації є метою процесу абсорбції, тоді залишкова концентрація компонента, що витягується в газовій суміші є основним регульованим параметром. Всі вищеописані схеми автоматизації газових абсорберів також можна використати і в цьому випадку, тільки замість регулятора концентрації

меркаптанів готового розчину треба використати регулятор концентрації компонента відпрацьованих газів.

З розглянутих схем автоматизації для нашого випадку найбільше підходить система яка враховує концентрацію вихідної речовини і змінює витрати реагуючих компонентів у певному співвідношенні. Ця система забезпечить максимальну швидкодію та необхідну якість вихідного продукту.

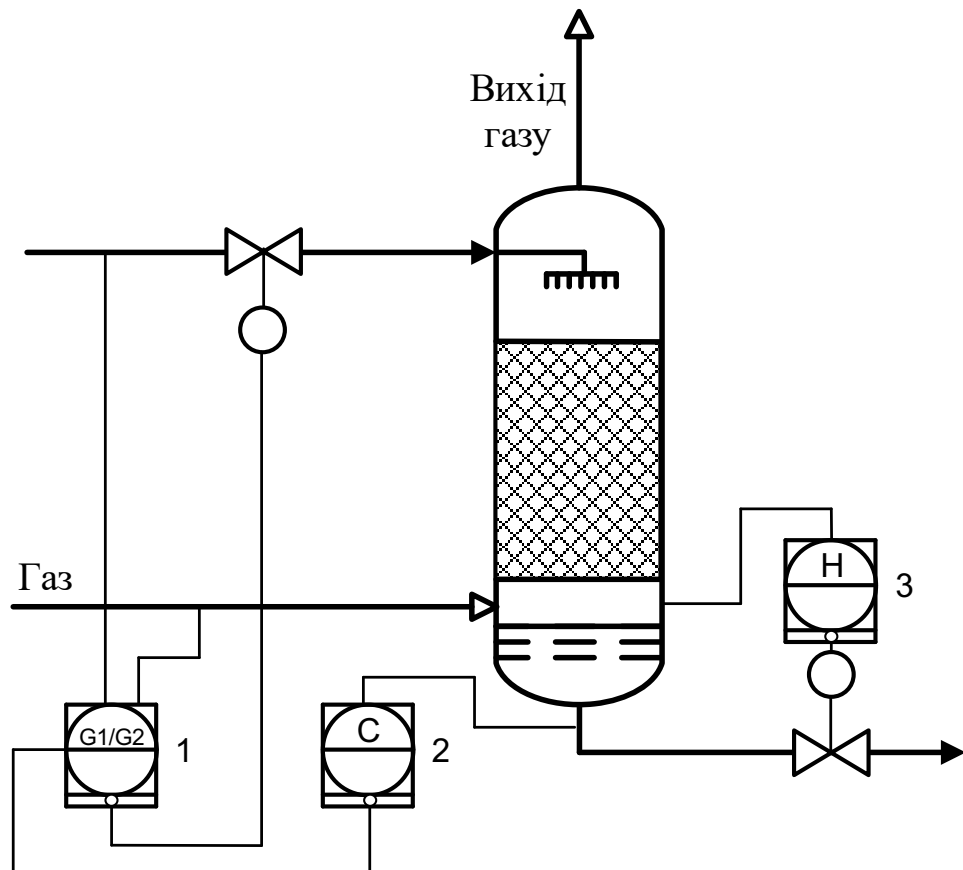


Рис. 1.6. Принципова схема автоматизації абсорбера з використанням комбінованої двоконтурної САК концентрації робочого розчину: 1 – регулятор співвідношення; 2 – регулятор концентрації; 3 – регулятор рівня

1.4. Принцип побудови барботажного реактора

Контакт газу з рідиною може бути здійснений пропусканням бульбашок газу крізь шар рідини (барботаж). При барботажі створюється дуже велика поверхня контакту фаз. особливо в тому випадку, коли бульбашки газу досить малі.

Реактори з барботажем мають великий час перебування рідкої фази в апараті і, використовуються в основному для проведення реакцій з невеликою або помірною швидкістю. Крім того, але порівняно з реакторами типу колони з насадкою вони мають менший обсяг і споживають менше енергії

Для проведення процесів з постійною витратою газу (максимальна зміна витрати газу 15%) використовують барботажні колони з сітковими тарілками. Колони такої конструкції прості і в ряді випадків мають високу продуктивність. Тарілки цієї колони представляють собою перфоровані пластинки. Газ проходить крізь отвори тарілок і розподіляється в рідині у вигляді невеликих струмків, утворюючих безпосередньо над тарілкою зону спінювання і крапель, що є фактично основною областю масопередачі.

Абсорбційна колона з сітковими тарілками застосовуються головним чином в тих випадках, коли в результаті реакції не утворюється осад або кристали, які можуть закупорити отвори. Основною умовою для нормальної роботи цих колон є сталість витрати газу. Якщо швидкість газу стає незначною ($\sim 0,1$ м /с), то рідина, проходячи крізь отвори, знижує продуктивність тарілок. Тиск і швидкість газу, що приходить крізь отвори тарілок, повинні бути достатніми для подолання тиску шару рідини на тарілці.

Важливою умовою нормальної роботи колони з сітковими тарілками є правильне горизонтальне розташування тарілок. Діаметр і кількість отворів на тарілці вибираються таким чином, щоб рідина утримувалася на тарілці і не відбувалося механічного виносу. Зазвичай діаметр отворів дорівнює 1-3 мм.

Продуктивність колони з сітковими тарілками збільшиться, якщо продовжити час контакту між газом і рідиною. Це можливо, наприклад, коли

рідині на тарілці передається круговий рух за рахунок механічного пристрою. На рис 1.8. зображено колону з сітковими тарілками [13].

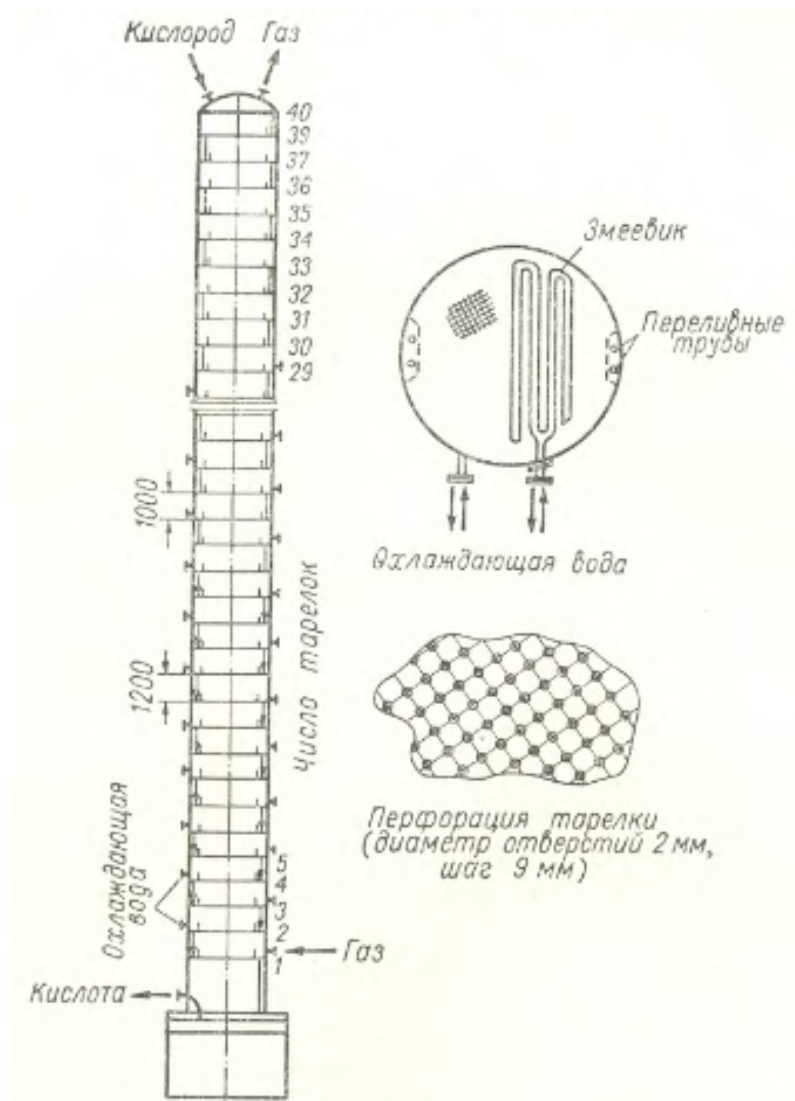


Рис. 1.8. Барботажна колона з сітковими тарілками

Найбільш простим пристроєм для барботажу є труба з отворами необхідних розмірів. Труба вводиться у нижню частину реактор, таким чином, щоб потік бульбашок, який піднімається, мав різну щільність.

У деяких випадках використовують пористу поверхню, яка дає можливість отримувати бульбашки дуже малого діаметру (одночасно з барботажем здійснюється і деяка гомогенізація, хоча перемішування тоді стає непотрібним). При такому способі усувається ряд недоліків, що виникають при використанні мішалок (особливо, коли процес протікає при високому тиску) [13].

1.5. Аналіз реактора в процесі очищення бензину від сіркових сполук

Хімічними реакторами називають апарати в яких здійснюються хімічні процеси з метою отримання певної речовини в рамках одного технологічного процесу.

У широкому сенсі до хімічних реакторів можуть бути віднесені і багато інших апаратів для проведення хімічних реакцій, які, проте, використовуються не для отримання певної речовини, а для будь-яких інших цілей (наприклад, пальники різних видів, двигуни внутрішнього згоряння, реактивні двигуни. У всіх таких пристроях головним є не продукт, одержуваний внаслідок хімічної реакції, а тепловий або електричний ефект чи механічна робота.

Якщо розглянути безліч реакторів, що застосовуються в теперішній час в хімічній промисловості, то можна зробити наступні висновки.

У всіх хімічних реакторах мають місце певні фізичні процеси, за допомогою яких створюються оптимальні умови проведення хімічного процесу. Для здійснення фізичних етапів процесу реактори мають в своїй структурі прості апарати або елементи апаратів (мішалки, теплообмінники). Таким чином, хімічні реактори можна розглядати як комплексні апарати, що складаються з певних поєднань простих апаратів або елементів апаратів, більшість з яких використовується для проведення фізичних етапів процесу, що супроводжують хімічну реакцію. Число таких можливих і необхідних поєднань, а отже, і кількість типів реакторів, дуже велике, і деякі з них мають між собою суттєві відмінності. Разом з тим існують і однакові для всіх реакторів елементи, на основі яких можна скласти загальні закономірності, що дають уявлення про розвиток хімічного процесу [13].

Найчастіше хімічні реактори класифікують, за наступними критеріями: безперервність операції, тепловий режим, режим руху реакційного середовища і фазовий стан реагентів.

За безперервністю операції розрізняють наступні види реакторів: періодичної, безперервної та напівперіодичної дії. У процесі очищення бензину

від сіркових сполук використовується реактор неперервної дії. Реактори безперервної дії мають безперервне живлення реагентами. Видалення продукту реакції також безперервне. За винятком періодів пуску і зупинки реактор працює у стаціонарному режимі. Для таких реакторів тривалість реакції не може бути виміряна безпосередньо, так як зазвичай в реакційному просторі змінюється не тільки склад, але і температура, кількість молей, обсяг і лінійна швидкість реагентів. У цьому випадку замість тривалості реакції використовують час контакту (тривалість перебування).

За тепловим режимом реактор належить до адіабатичних реакторів, які не мають теплообміну з навколишнім середовищем. Конструкція цих реакторів проста, оскільки для здійснення адіабатичного режиму досить мати хорошу теплову ізоляцію [13].

За фазовим станом реагентів реактор належить до гетерогенних реакторів, тому що речовини, які знаходяться у ньому, мають різні агрегатні стани. В нашому випадку це рідина та газ.

За характером руху реакційного середовища реактор належить до реакторів з перемішуванням. Перемішування - гідравлічний процес взаємного переміщення часток в рідкому середовищі з метою їх рівномірного розподілу всього обсягу під дією імпульсу, переданого середовищі мішалкою, струменем рідини або газу. В нашому випадку перемішування відбувається за рахунок барботажу - перемішування відбувається шляхом пропускання через рідке середовище потоку повітря або газу, роздробленого на дрібні бульбашки, які, піднімаючись в шарі рідини під дією Архімедової сили, інтенсивно перемішують рідину [7].

У процесі очищення бензину від сіркових сполук в реакторі використовується каталізатор з нерухомим шаром. Такі реактори є найбільш поширеними в галузі каталітичних технологій. Внутрішнє середовище реакторів вважають неоднорідною системою, що складається з двох фаз: твердих частинок каталізатора і проміжків між ними, по яких рухається реакційна

суміш у вигляді газу або рідини. У реакторі одночасно відбуваються як хімічні перетворення на поверхні каталізатора, так і фізичні процеси перенесення реагуючих речовин і продуктів реакції в шарі, передача тепла, рух потоку газу. Характер взаємодії між складовими процесу і їх питома вага в сумарному процесі залежить від розміру реактора [14]. У барботажному реакторі застосовують фталоціанін-кобальтовий каталізатор, який у вигляді гранул розташовують на тарілках. Коли активність каталізатора зменшується, його замість повітря продувають інертним газом. Таким способом відбувається відновлення властивостей каталізатора.

За характером параметрів керування реактор належить до апаратів з розподіленими параметрами. Також реактор має значну інерційність, тому необхідно забезпечити швидкодію керування. Реактор має нестационарний стан процесів. Оскільки властивості каталізатора змінюються з часом, то необхідно враховувати це під час моделювання та керування реактора.

Речовини, які надходять до реактора мають їдкий запах, та можуть призвести до опіків. Тому існує необхідність встановити систему аналізу повітря на шкідливі речовини та забезпечити персонал індивідуальними засобами захисту.

Керування реактором може відбуватись таким чином, як описано в пункті 1.6. А саме, витрати реагуючих компонентів будуть залежати від концентрації лужного розчину на виході з реактора. Така система забезпечить необхідне керування зі зменшеною інерційністю проходження процесу.

У реакторі відбуваються досить складні процеси, для яких важко побудувати аналітичну модель, яка б досить точно відображала процес, тому для дослідження процесів у реакторі доцільно побудувати імітаційну модель реактора та провести дослідження.

1.6. Опис існуючих систем автоматичного керування реактором

У процесі очищення бензину від сіркових сполук барботажний реактора має дуже важливу роль, тому що в ньому відбувається регенерація лужного розчину, яким потім очищують бензин. Приклад реалізації системи керування реактором описаний у роботі [15]. Там показана типова система керування реактора з мішалкою. Ця система може бути застосована і для барботажного реактора, тому що вони схожі за функціями і відрізняються лише способом змішування. У барботажному реакторі змішування речовин відбувається за рахунок проходження бульбашок крізь них.

При розробці типового рішення під об'єктом управління будемо розуміти ємність з механічною мішалкою, в якій змішують дві рідини. За показник ефективності процесу перемішування візьмемо концентрацію будь-якого компонента в суміші, а метою управління буде отримання суміші з певною концентрацією цього компонента.

Залежність показника ефективності від параметрів процесу можна вивести з рівняння матеріального балансу по шуканому компоненту:

$$G_{\text{сум}} C_{\text{сум}} = G_A C_A + G_B C_B, \quad (1.6)$$

де $G_{\text{сум}}$, G_A , G_B - витрати відповідно суміші, рідини A і рідини B ; $C_{\text{сум}}$ - концентрація шуканого компонента в суміші; C_A , C_B - концентрація шуканого компонента відповідно в рідинах A і B .

Враховуючи, що витрата $G_{\text{сум}}$ в сталому режимі дорівнює сумі витрат G_A і G_B , і розв'язуючи це рівняння щодо концентрації $C_{\text{сум}}$, отримаємо:

$$C_{\text{сум}} = \frac{G_A C_A + G_B C_B}{G_A + G_B}, \quad (1.7)$$

Зі зміною витрат G_A і G_B на об'єкт будуть надходити впливи. Якщо між попередніми процесами і процесом змішування встановити ємності, то можна цілеспрямовано змінювати одну з цих витрат з метою підтримки концентрації

$C_{\text{сум}}$ на заданому значенні. Більш ефективно змінювати витрату тієї рідини, в якій концентрація шуканого компонента вище.

Концентрації C_A і C_B визначаються технологічними режимами попередніх процесів, тому стабілізувати або змінювати їх для досягнення мети управління неможливо.

Отже, в змішувач можуть надходити впливи, тому слід регулювати безпосередньо концентрацію $C_{\text{сум}}$, вносячи регулюючі дії зміною однієї з витрат G_A або G_B .

У змішувачі необхідно мати певний обсяг рідини. Істотна зміна обсягу рідини може привести до переповнення апарату або його спорожнення, при цьому процес змішування стає неможливим. Показником обсягу рідини є рівень в апараті, тому його необхідно стабілізувати. Рівень рідини залежить від витрат G_A , G_B . Якщо витрата $C_{\text{сум}}$ визначається ходом подальшого процесу, то його не можна ні стабілізувати, ні використовувати для внесення регулюючих впливів. Одна з витрат G_A або G_B , як уже сказано, буде використовуватися для внесення регулюючих впливів при регулюванні концентрації $C_{\text{сум}}$. Отже, єдиним каналом для внесення регулюючих впливів при стабілізації рівня є інша витрата. Відзначимо, що здійснюючи регулюючі дії, регулятор рівня створює збурення для регулятора концентрації $C_{\text{сум}}$.

Для успішної експлуатації змішувача, оперативного управління ним і підрахунку техніко-економічних показників слід контролювати концентрацію $C_{\text{сум}}$, витрати G_A , G_B і $G_{\text{сум}}$, рівень рідини в змішувачі і кількість енергії, споживаної приводом мішалки. При значному відхиленні концентрації $C_{\text{сум}}$ і рівня в змішувачі від заданих значень повинен бути поданий сигнал. При досягненні критичного значення рівня подача рідини повинна бути припинена.

Якщо витрата суміші не обумовлена ходом подальшого технологічного процесу, то його потрібно використовувати для регулювання рівня в змішувачі; зміною витрати однієї рідини підтримувати постійною концентрацію $C_{\text{сум}}$, а витрату іншої стабілізувати.

Якщо витрати однієї рідини значно змінюється, то для поліпшення якості регулювання слід використовувати регулятор співвідношення витрат рідин з корекцією за концентрацією суміші $C_{\text{сум}}$ (рис. 1.7.). Регулювання співвідношення витрат рідини компенсує збурення по витраті рідини Б шляхом зміни витрати рідини А до того, як зміниться концентрація $C_{\text{сум}}$. Якщо деяких причин концентрація $C_{\text{сум}}$ все ж зміниться, наприклад при зміні концентрації шуканого компонента в рідинах А і Б, то зміниться завдання регулятора співвідношення.

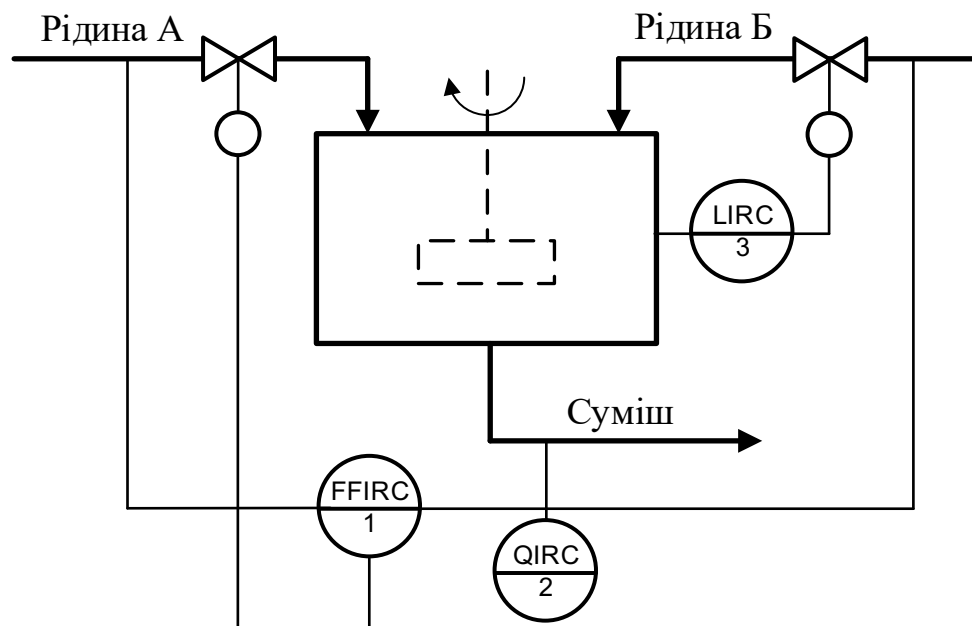


Рис. 1.7. Схема регулювання процесу змішування при значних змінах витрати однієї з рідин: 1 – регулятор співвідношення; 2 – регулятор концентрації; 3 – регулятор рівня

При постійних концентраціях компонента в рідинах А і Б можливе регулювання співвідношення витрат без автоматичної корекції величини співвідношення.

Перемішування рідини в барботажних змішувачах здійснюється за допомогою стиснутого повітря. Для нормальної роботи таких змішувачів необхідно додатково до розглянутих вище регуляторам встановити регулятор тиску повітря, що подається в барботер. При постійному тиску повітря забезпечується рівномірний розподіл однієї рідини в іншій.

Проблема проектування реакторів полягає в застосуванні рівнянь швидкості реакції і рівнянь тепло- і масопередачі до конкретних промислових випадків. Кінцевою метою при цьому є створення економічної і легкої в експлуатації конструкції реактора з можливістю автоматизації при необхідних умовах.

Для знаходження розмірів каталітичного реактора, процес в якому проводиться до певної міри перетворення при заданих значеннях витрати, потрібно розрахувати обсяг (масу) каталізатора. Співвідношення між висотою і перетином шару каталізатора залежить від швидкості газу, необхідної для отримання оптимальної величини переносу маси і газової фази. Нарешті, форма реактора і особливо вид і розміри поверхні теплообміну залежать від кількості тепла, яке потрібно перемістити і одиницю часу на одиницю об'єму каталізатора [13].

Однією з найважливіших проблем є зменшення активності каталізатора. Активація поверхні каталізаторів – необхідна стадія як в первинному процесі отримання, так і періодично під час користування. Ця операція може складатися з видалення адсорбованих або осаджених будь-яким іншим способом сторонніх матеріалів, або ж в зміні тим чи іншим методом фізичних або хімічних властивостей каталізаторів. Нерегулярність форми поверхні, різні виступи і злами і дефекти в кристалах, все це веде до збільшення активності, тому застосовуються способи, стимулюючі їх утворення.

Метод активування змінюється залежно від матеріалу каталізатора та технологічних умов. Іноді досить помірного нагрівання, щоб видалити адсорбовані отрути. Часто необхідно нагрівання при температурі, що трохи перевищує температуру процесу, причому нагрівання проводять обережно, щоб уникнути спікання каталізатора. Можна обробити поверхню хімічними реагентами, що розчиняють небажані речовини або змінюють їх хімічну природу.

Металеві каталізатори часто готують у відновлювальній атмосфері в присутності водню, який слугує активатором. Інші каталізатори слід обробляти киснем, сірководнем, окисом вуглецю або хлоровані вуглеводнями. Так, активність каталізатора, що складається з молібдату кобальта, відновлюють спалюванням відкладеного на поверхні вугілля і потім нагріванням в присутності водню. Деякі платинові каталізатори для риформінгу бензино-лігроїнових фракцій піддають послідовному окисленню і відновленню та обробляють хлоровмісними сполуками. Нагрівання і подальше за ним швидке охолодження можуть викликати утворення тріщин і деформацій, що сприяє підвищенню активності. Іноді можна відновити активність каталізатора, який втратив її через відкладення на поверхні, стиранням в обертовому барабані.

Якщо каталізатор піддається отруєнню в процесі його використання, головним фактором, що визначає придатність каталізатора, є можливість безперервно відновлювати його активність під час самого процесу або робити це періодично в реакторі або в окремому обладнанні [16].

1.7. Постановка задачі магістерської дисертації

Бензин одна з найважливіших речовин для сьогоденного суспільства. Майже вся транспортна промисловість залежить від нього, тому необхідно забезпечити його очищення згідно до певних норм.

На основі аналізу технологічного процесу, властивостей основних технологічних апаратів та існуючих систем керування для цих апаратів, можна дійти висновку, що необхідно розробити схему автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук, яка б враховувала особливості процесу, а саме забезпечення якості продукції та енергозабезпечення. Це збільшить ефективність очищення бензину та зменшить витрати на обслуговування. Керування процесом повинно відбуватись за рахунок засобів автоматизації та методів керування, а саме використання таких типів регуляторів, які дозволять найкращим чином розв'язати поставлені задачі автоматизації.

До окремих задач магістерської дисертації належать наступні:

1. Розробка схеми автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук;
2. Розробка систем аварійної сигналізації, технологічного блокування та дистанційного курування;
3. Розробка програмного забезпечення керування процесом екстракції на основі SCADA-системи Trace Mode.
4. Дослідження властивостей барботажного реактора.
5. Синтез систем керування для барботажного реактора та екстрактора.
6. Розробка стартап-проекту.

2. СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК

2.1. Параметри контролю та керування виробництва

Основним принципом в розробці системи автоматизації даного виробництва є контроль та керування витрати двох потоків у певному співвідношенні. Корегування витрати може відбуватися за рахунок показника вихідного параметру, в нашому випадку це концентрація сіркових сполук у вихідній речовині. Також необхідно забезпечити контроль та керування температури і рівня на певних етапах процесу очищення бензину. Дані про технологічний процес будуть передаватись на пульт керування.

На підставі здійсненого аналізу особливостей технологічного процесу очищення бензину від сіркових сполук та існуючих схем автоматизації слід передбачити автоматичний контроль таких параметрів:

- Витрати очищеного бензину, що виходить з екстрактора 1;
- Концентрації меркаптанів в очищеному бензині , що виходить з екстрактора 1;
- Концентрації меркаптанів в бензині , що входить в екстрактор 1;
- Концентрації NaOH в лужному розчині, що знаходиться до екстрактора 1;
- Концентрації NaOH в суміші регенерованого лужного розчину та дисульфідів , що виходить з барботажного реактора 3;
- Рівня регенерованого лужного розчину в сепараторі 6.

Та автоматичне керування наступних параметрів:

- Витрати бензину, що надходить до екстрактора 1;
- Витрати лужного розчину, що надходить до екстрактора 1;
- Температури на виході з теплообмінника 2 (60 °C);
- Витрати насиченого меркаптидами лужного розчину на вході в барботажний реактор 3;
- Витрати повітря, що надходить в барботажний реактор 3;

- Рівня суміші регенованого лужного розчину та дисульфідів в сепараторі повітря 4;

- Витрати суміші регенованого лужного розчину та дисульфідів, що надходить у холодильник 5;

- Витрати бензину, що надходить у холодильник 5;

- Температури насиченої дисульфідами бензинової фракції та регенованого лужного розчину на виході з холодильника 5 (40 °C);

Результати аналізу подані у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Параметри контролю та керування процесу очистки бензину від сіркових сполук

№ п/п	Технологічний об'єкт, місце заміру параметра	Найменування параметра, що контролюється чи регулюється	Норми технологіч- ного режиму та допустимі відхилення	Вимоги до схеми автоматизації (контроль, керування, сигналізація)
1	2	3	4	5
1	Трубопровід, легка бензинова фракція	Витрата	13 м³/год	Контроль
2	Трубопровід, лужний розчин	Витрата	4,5 м³/год	Контроль
3	Трубопровід, очищений бензин	Витрата	-	Контроль, регулювання
4	Трубопровід, очищений бензин	Концентрація	0,005 %	Контроль, сигналізація
5	Трубопровід, бензин	Концентрація	-	Контроль
6	Трубопровід, насичений меркаптидами лужний розчин	Температура	60 °C	Контроль, регулювання
7	Трубопровід, насичений меркаптидами лужний розчин	Витрата	4,5 м³/год	Контроль
8	Трубопровід, повітря	Витрата	1000 м³/год	Контроль, регулювання
9	Трубопровід, регенований лужний розчин, дисульфід та повітря	Концентрація	10 %	Контроль, сигналізація
10	Сепаратор повітря, регенований лужний розчин та дисульфід	Рівень	-	Контроль

Продовження таблиці 2.1

1	2	3	4	5
11	Трубопровід, регенований лужний розчин та дисульфід	Витрата	5 м ³ /год	Контроль
12	Трубопровід, бензин	Витрата	10 м ³ /год	Контроль, регулювання
13	Трубопровід, насичена дисульфідами бензинова фракція та регенований лужний розчин	Температура	40 °C	Контроль, регулювання
14	Сепаратор, регенований лужний розчин	Рівень	-	Контроль
15	Трубопровід, лужний розчин	Концентрація	10 %	Контроль, сигналізація

2.2. Опис схеми автоматизації

Схема автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук включає в себе ряд контурів контролю і сигналізації.

До контурів контролю входять контури контролю витрати, концентрації, рівня та температури.

Контур 1 забезпечує контроль витрати бензину у трубопроводі на вході у екстрактор 1 та містить: компакту вимірювальну діафрагму (1А); інтелектуальний датчик перепаду тиску (1Б). Індикація витрати виконується контролером (2В).

Контур 2 забезпечує контроль витрати лужного розчину у трубопроводі на вході у екстрактор 1 та керування співвідношенням між витратами бензину та лужного розчину та містить: компакту вимірювальну діафрагму (2А); датчик перепаду тиску (2Б); контролер (2В); електропневматичний перетворювач (2Г); регулюючий клапан з пневмоприводом (2Д), встановлений на трубопроводі 36 (регенерований лужний розчин).

Контур 3 забезпечує контроль концентрації RSH в трубопроводі на виході з екстрактора 1 та містить: контактний сенсор питомої електропровідності та питомого опору (3А); електрохімічний перетворювач (3Б).

Сигнал з перетворювача (3Б) надходить до контролера (2В), де відбувається корегування співвідношення витрат бензину та лужного розчину. При виході концентрації RSH на максимальне значення має спрацювати сигналізація на пульті керування.

Контур 4 забезпечує контроль концентрації RSH в трубопроводі на вході в екстрактор 1 та містить: контактний сенсор питомої електропровідності та питомого опору (4А); електрохімічний перетворювач (4Б). Сигнал з перетворювача (4Б) надходить до контролера (2В), де відбувається індикація.

Контур 5 забезпечує контроль витрати очищеного бензину у трубопроводі на виході з екстрактора 1 та містить: компактну вимірювальну діафрагму (5А); датчик перепаду тиску (5Б); контролер (2В), де відбувається індикація та підсумовування очищеного бензину.

Контур 6 забезпечує керування температури насиченого меркаптидами лужного розчину в трубопроводі на вході у регенератор 3 та містить: термоперетворювач (6А); контролер (2В); електропневматичний перетворювач (6Б); регулюючий клапан з пневмоприводом (6В), встановлений на трубопроводі 1 (вода). На контролері (2В) відбувається індикація температури та автоматичне керування.

Контур 7 забезпечує контроль витрати насиченого меркаптидами лужного розчину у трубопроводі на вході у барботажний реактор 3 та містить: компактну вимірювальну діафрагму (7А); датчик перепаду тиску (7Б). Індикація витрати виконується контролером (2В).

Контур 8 забезпечує контроль витрати повітря у трубопроводі на вході у барботажний реактор 3 та керування співвідношенням між витратами насиченого меркаптидами лужного розчину та повітря та містить: компактну вимірювальну діафрагму (8А); датчик перепаду тиску (8Б); контролер (2В);

електропневматичний перетворювач (8Г); регулюючий клапан з пневмоприводом (8Д), встановлений на трубопроводі 3 (повітря).

Контур 9 забезпечує контроль концентрації NaOH в трубопроводі на виході з барботажного реактора 3 та містить: контактний сенсор питомої електропровідності та питомого опору (9А); електрохімічний перетворювач (9Б).

Сигнал з перетворювача (9Б) надходить до контролера (2В), де відбувається корегування співвідношення витрат лужного розчину насиченого меркаптидами та повітря. При виході концентрації NaOH на мінімальне значення має спрацювати сигналізація на пульті керування.

Контур 10 забезпечує керування рівнем регенованого лужного розчину та дисульфідів у сепараторі 4 та містить: буйковий перетворювач з торсійною трубкою для вимірювання рівня (10А); контролер (2В); електропневматичний перетворювач (10Б); регулюючий клапан з пневмоприводом (10В), встановлений на трубопроводі 32 (суміш регенованого лужного розчину та дисульфідів).

Контур 11 забезпечує контроль витрати регенованого лужного розчину та дисульфідів у трубопроводі на вході у холодильник 5 та містить: компактну вимірювальну діафрагму (11А); датчик перепаду тиску (11Б). Індикація витрати виконується контролером (2В).

Контур 12 забезпечує контроль витрати бензину у трубопроводі на вході у холодильник 5 та керування співвідношенням між витратами бензину та регенованого лужного розчину насиченого дисульфідами та містить: компактну вимірювальну діафрагму (12А); інтелектуальний датчик перепаду тиску (12Б); контролер (2В); електропневматичний перетворювач (12Г); регулюючий клапан з пневмоприводом (12Д) встановлений на трубопроводі 33 (суміш регенованого лужного розчину та дисульфідів).

Контур 13 забезпечує контроль концентрації NaOH в трубопроводі на виході з сепаратора 6 та містить: контактний сенсор питомої електропровідності та питомого опору (13А); електрохімічний перетворювач (13Б).

Сигнал з перетворювача (13Б) надходить до контролера (2В), де відбувається корегування співвідношення витрат бензину та регенованого лужного розчину. При виході концентрації NaOH на мінімальне значення має спрацювати сигналізація на пульті керування.

Контур 14 забезпечує керування температури регенованого лужного розчину та бензину в трубопроводі на вході у сепаратор 6 та містить: термоперетворювач (14А); контролер (2В); електропневматичний перетворювач (14Б); регулюючий клапан з пневмоприводом (14В), встановлений на трубопроводі 1 (вода).

Контур 15 забезпечує контроль рівня регенованого лужного розчину у сепараторі 6 та містить: буйковий перетворювач з торсійною трубкою для вимірювання рівня (15А); контролер (2В) При виході рівня регенованого лужного розчину на максимальне значення має спрацювати сигналізація на пульті керування.

Контури 16-18 контролюють електродвигуни насосів 1-3.

2.3. Опис систем технологічної сигналізації

Технологічні блокування спрацьовують при занадто низьких або занадто високих показниках вимірюваного параметра. Якщо така ситуація сталася відбувається наступне: Аварійна ситуація індикується приладом 18Б. Перемикач цього ж приладу перемикається. Таким чином, спрацьовує реле (КМ1): - розмикається контакт КМ6-1 (відключається сигнальна лампочка зеленого кольору HL12) - замикається контакт КМ5-1 (включається сигнальна лампочка червоного кольору HL11). Після усунення несправностей, контакти приладу 18Б перемикаються – реле захисту відключається (КМ6-1 замикається, подаючи напругу на HL12, КМ5-1 розмикається, відключаючи напругу від HL11). На принциповій електричній схемі креслення ЛА72мп.02.МД.00.002.СхЕ

показані схеми технологічної сигналізації. Всі ланцюги сигналізації побудовані за типовим варіантом. Сигналізація про вихід концентрації та рівня за межі норм розміщена на пульті керування у вигляді лампочок.

2.4. Опис систем аварійного захисту

На принциповій електричній схемі ЛА72мп.01.МД.00.001.СхЕ показані схеми дистанційного управління електродвигунами з аварійним захистом для електромоторів. Всі ланцюги управління побудовані за типовим варіантом.

При роботі відцентрових насосів дуже часто між корпусом насоса і крильчаткою потрапляють тверді частинки. У результаті цього зупиняється крильчатка і електродвигун, який може вийти з ладу. У цьому випадку (у випадку аварії) повинен спрацювати механічний захист: шпонка між крильчаткою і валом зрізується. При цьому починає наростати число обертів електродвигуна, так як відсутній протидіючий момент навантаження. Тому повинен спрацювати електричний захист.

Електричний аварійний захист передбачає автоматичне відключення живлення електродвигуна при виході насоса з ладу.

При аварійній зупинці відцентрового насоса замикається контакт КМ6-1 і утворюється замкнутий ланцюг живлення для електромагніту КМ6. Реле КМ6 спрацьовує, внаслідок чого перемикаються його контакти. Контакт КМ6-1 замикається і вмикається червона сигнальна лампочка НЛ12, яка вказує, що аварійне реле захисту спрацювало. Другий контакт аварійного реле КМ6-2 розмикається і розриває ланцюг живлення для електромагніту магнітного пускача МПЗ. У результаті цього живлення електродвигуна МЗ при аварії вимикається.

Після проведення ремонту відцентрового насоса живлення електродвигуна МЗ включається за допомогою кнопки SB6. Так як насос миттєво не набирає робочий тиск, кнопку SB6 потрібно утримувати натиснутою до тих пір, поки не згасне червона сигнальна лампочка НЛ9, якщо ця лампочка згасла, кнопку SB6

можна відпускати і ланцюг живлення електромагніту магнітного пускача МПЗ проходить через контакти МПЗ-1 і МПЗ-2.

2.5. Опис систем технологічного блокування

Якщо виникає аварія у відцентрованому насосі і формується сигнал аварійного захисту електродвигуна за допомогою аварійного сигналу, то в цьому випадку повинна спрацювати система технологічних блокувань, яка повинна відключити вихідний сигнал регулятора, тобто регулюючі клапани повинні повністю закрити трубопроводи.

Блокування можуть спрацьовувати в декількох випадках:

1. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М1.
2. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М2.
3. Відсутність тиску в трубопроводі на виході насоса М3.

Блокування спрацьовує коли замикається контакт приладу, наприклад, (поз. 18Б), при малому тиску в трубопроводі після насоса. В наслідок замикається контакт КМ5-1 реле КМ5 ($U_{\text{жив}}=24\text{В}$) загорається сигнальна лампочка НЛ11 далі напруга подається на реле КМ6. Після цього замикається контакт реле КМ6-1 ($U_{\text{жив}}=220\text{В}$) і загорається лампочка НЛ11, які означають що впав тиск і спрацювало реле КМ6. В схемі включення виключення електромоторів розмикаються контакти реле КМ6-2 і двигун вимикається. Також реле КМ6 відключає регулятор від клапана: нормально-замкнений контакт КМ6-4 розмикається, а нормально-розімкнутий контакт КМ6-3 замикається, відключаючи регулятор від клапана і підключаючи його до опору навантаження для того щоб не збилися настройки регулятора. Після регулятор буде формувати сигнал розузгодження і надалі. А клапан закриється чи відкриється в залежності від його виконання.

2.6. Опис систем дистанційного керування електродвигунами

На основі схеми автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук розроблена принципова електрична схема дистанційного керування електродвигунами – дивись схему ЛА72мп.01.МД.00.002.СхЕ.

На цій схемі показано, що для вмикання і вимикання живлення електродвигунів використовуються магнітні пускачі – МП1, МП2, МП3.

Для захисту живлення електродвигунів від перевантаження та короткого замикання використовуються автоматичні вимикачі – FP1, FP2, FP3, FP4, FP5, FP6.

Для запобігання згорання магнітних пускачів в ланцюги струму підключаються плавкі запобіжники – FU1, FU2, FU3.

Для вимикання живлення встановлюються кнопки вимикання живлення електродвигунів – SB1, SB3, SB5.

Для вмикання живлення встановлюються кнопки вмикання живлення електродвигунів – SB2, SB4, SB6.

Для сигналізації увімкнутих електродвигунів встановлюються лампочки зеленого кольору – HL1, HL5, HL9.

Для сигналізації вимкнутих електродвигунів встановлюються лампочки червоного кольору – HL2, HL6, HL10.

Для індикації тиску, що вимірюються, з метою аварійного захисту використовуються технологічний індикатор, позиції 16Б, 17Б, 18Б, і для аварійного відключення електродвигуна використовуються електромагнітне реле КМ1, КМ3, КМ5; та для індикації використовуються лампочки HL3, HL4, HL7, HL8, HL11, HL12.

2.7. Опис монтажно-комутаційної схеми

Схема монтажно-комутаційних з'єднань до принципової електричної схеми з дистанційного керування аварійного захисту та технологічних блокувань знаходиться на кресленні ЛА72мп.01.МД.00.001.СхМ.

Клемна колодка X1 LTA12-6.0:

До контактів 1,2,3,4 підведені три фази силової мережі і нуль;

До контактів 5,6 приєднаний плавкий запобіжник FU3;

До контактів 6,7 приєднаний автоматичний вимикач FP5;

До контактів 7,8 приєднаний автоматичний вимикач FP6;

До контактів 8,9 приєднана кнопка SB5;

До контактів 9,10 приєднана кнопка SB6;

До контактів 10, 11 приєднаний магнітний пускач МПЗ;

До контактів 11,12 приєднана кнопка SA3.

Клемная колодка X2 LTA 12-6.0:

До контактів 1,2,3 підключено електродвигун;

До контактів 3,4 приєднано теплове реле FP5;

До контактів 1,6 приєднано теплове реле FP6;

До контактів 4,1(X1 LTA 12-6.0) приєднаний нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МПЗ-4;

До контактів 5,2(X1 LTA 12-6.0) приєднаний нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МПЗ-5;

До контактів 6,3(X1 LTA 12-6.0) приєднаний нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МПЗ-6;

До контактів 7,8 приєднано лампочку HL12;

До контактів 8,9 приєднано нормально розімкнений контакт реле КМ6-1;

До контактів 10,11 приєднано електромагнітне реле КМ6;

До контактів 10,11 приєднано лампочку HL11;

До контактів 11,12 приєднано нормально розімкнутий контакт реле КМ5-1;

До контактів 7 і 12 приєднані нуль і фаза С відповідно.

Клемная колодка X3 LTA 12-6:

До контактів 1,2 приєднаний нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МПЗ-1;

До контактів 2,3 приєднано нормально замкнений контакт реле КМ6-2;

До контактів 4,5 приєднаний нормально замкнений контакт магнітного пускача МПЗ-2;

До контактів 4,7 приєднаний нормально розімкнутий контакт магнітного пускача МПЗ-3;

До контактів 5,6 приєднано лампочку HL9;

До контактів 7,8 приєднана лампочка HL10;

До контактів 11,12 приєднаний блок живлення БПС24-2К.

Клемная колодка X4 LTA 12-6:

До контактів 1,2,3,4 підведені "+" та "-" з блока живлення БПС24-2К ;

До контактів 1,2,3,5,6,7 приєднана плата КБЗ-17К-01

До контактів 4,5 приєднаний діод VD5;

До контактів 4,5 приєднано реле КМ5;

До контактів 6,7 приєднаний прилад поз. 18А;

2.8. Опис мікропроцесорної та вимірювальної техніки

У процесі очищення бензину від сіркових сполук необхідно забезпечити контроль та керування параметрами. Для цього нам необхідно встановити мікроконтролери у систему автоматизації. В нашому випадку були застосовані мікроконтролери фірми Siemens SIMATIC S7-1200 [17]. На рис. 2.1. зображено цей мікроконтролер.



Рис. 2.1. Мікроконтролер Siemens SIMATIC S7-1200

Програмовані контролери SIMATIC S7-1200 це нове сімейство системних мікроконтролерів для вирішення базових завдань автоматизації різного призначення. Ці контролери мають модульну конструкцію і універсальне призначення. Вони можуть працювати в режимі реальному часі, можуть використовуватися для побудови відносно простих вузлів локальної автоматики або вузлів комплексних систем автоматичного управління, що підтримують інтенсивний комунікаційний обмін даними через мережі Industrial Ethernet/ PROFINET/ PROFIBUS DP з'єднання, канали зв'язку систем керування.

Програмовані контролери S7-1200 мають компактні пластикові корпуси із ступенем захисту IP20, можуть монтуватися на стандартну 35 мм профільну шину або на монтажну плату і працюють в діапазоні температур від -20 до +60 °C. Вони здатні обслуговувати від 10 до 284 дискретних або від 2 до 67 аналогових каналів введення-виведення [17].

Програмований контролер S7-1200 здатний виконувати логічні завдання, завдання автоматичного регулювання, виконувати математичну обробку інформації. Він має широкі функціональні можливості, відрізняється відносно

невисокою вартістю і може використовуватися у всіх секторах промислового виробництва, а також в системах автоматизації приміщень [18].

У нашій системі керування за рахунок мікроконтролера буде відбуватись керування процесами екстракції бензину, регенерації лужного розчину та підтримки параметрів температури та рівня.

Для вимірювання концентрації сіркових сполук та NaOH ми будемо використовувати контактний сенсор електропровідності 871CC та електрохімічний перетворювач 876 [19]. Ці засоби зображені на рис. 2.2. та 2.3.



Рис. 2.2. Контактний сенсор електропровідності 871CC



Рис. 2.3. Електрохімічний перетворювач 876

При використанні з відповідними сенсорами, інтелектуальні перетворювачі з живленням по сигнальній лінії серії 876 забезпечують вимірювання, відображення за місцем і дистанційну передачу значень pH, ORP (окислювально-відновлювальний потенціал), ISE (концентрація іонів), питомої електропровідності або опору. Вихідними сигналами є цифровий по протоколу HART і аналоговий 4-20 мА. Дисплей з клавіатурою і система діагностики забезпечують конфігурацію, калібрування, індикацію стану і пошук несправностей за місцем.

Для вимірювання витрати ми будемо використовувати компактну вимірювальну діафрагму СО з датчиком перепаду тиску IDP10 [19].

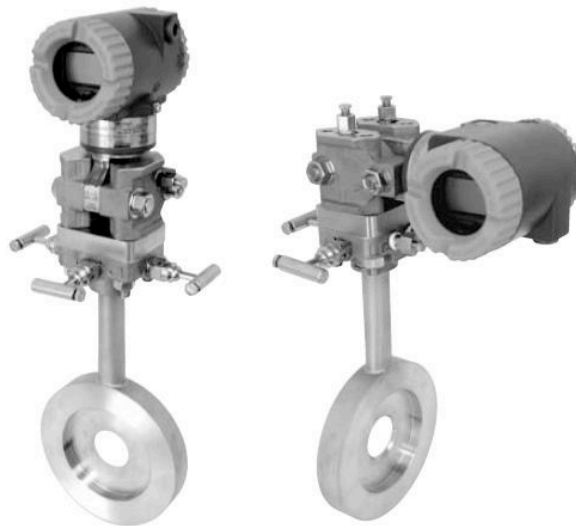


Рис. 2.4. Вимірювальна діафрагма СО в зборі з датчиком перепаду тиску IDP10

Компактна діафрагма СО - це міжфланцева діафрагма для вимірювання перепаду тиску. Цей комплектний пристрій встановлюється прямо на датчик перепаду тиску. Компенсаційне кільце та опційний монтажний комплект забезпечує правильну установку діафрагми на трубопроводи різних розмірів. Пряма установка компактної діафрагми моделі СО на датчик перепаду тиску в порівнянні з роздільною установкою маніфольда і датчика забезпечує кращі експлуатаційні характеристики і більш просту та економічну процедуру монтажу.

Компактна діафрагма і відкалібрований датчик збирають на заводі у вигляді комплектного функціонального пристрою і поставляють вже готовим для установки в трубопровід.

Датчик перепаду тиску IDP10 вимірює різницю між двома тисками і видає по парі проводів пропорційний або з вираховуванням квадратного кореня (для витрат) сигнал 4-20 мА, 1-5 Вольт або цифровий сигнал.

Для вимірювання температури ми будемо використовувати перетворювач температури RTT15 у парі з термopарою [19].



Рис. 2.5. Перетворювач температури RTT15

Перетворювач температури RTT15 забезпечує надійні, стабільні і точні вимірювання температури з використанням в якості сенсорів термометрів опору або термopар. Цей мікропроцесорний перетворювач може повністю конфігуруватись користувачем і дозволяє вибирати тип зв'язку - 4-20мА / HART, Foundation Fieldbus або Profibus.

Для вимірювання рівня ми будемо використовувати буйковий перетворювач 244LD LevelStar з торсійною трубкою для вимірювання рівня, межі розділу та густини рідини [19].



Рис. 2.6. Буйковий перетворювач 244LD LevelStar

Інтелектуальний перетворювач 244LD LevelStar розроблений для вимірювання рівня, межі розділу або густини рідин в будь-яких технологічних процесах. Вимірювання засноване на перевіреному принципі виштовхувальної сили Архімеда, що робить прилад виключно надійним і довговічним. Виміряні значення можуть передаватися в аналоговому і в цифровому вигляді. Цифрова комунікація полегшує експлуатацію і конфігурацію, що виконуються через ПК або систему керування. Навіть при високих температурах і тисках, незважаючи на корозійні середовища, 244LD LevelStar вимірює надійно і з високою точністю.

2.9. Розробка програмного забезпечення для керування процесом екстракції на основі SCADA-системи Trace Mode

Для розробки прикладного програмного забезпечення САК (система автоматичного керування) в даний час широко використовують SCADA-системи. Це система управління і моніторингу, що містить програмно-апаратні засоби, які взаємодіють між собою через локальні і глобальні мережі. SCADA-система дає наочне уявлення процесу і надає, як правило, графічний інтерфейс оператору для контролю і управління [20]. Програмні продукти даного класу дозволяють автоматизувати процес програмування алгоритмів збору,

попередньої і постобробки даних, а також алгоритмів керування та регулювання з використанням класичних законів регулювання. SCADA-системи на сьогоднішній день стають універсальними засобами розробки програмного забезпечення в області САК ТП і дозволяють використовувати широкий спектр механізмів управління даними [21].

В нашому випадку ми будемо використовувати SCADA-систему Trace Mode. Пакет програм Trace Mode дозволяє оперативно створювати електронні макети систем керування, налаштовувати їх в режимі реального часу і проводити порівняльний аналіз з іншими видами регуляторів. Його база даних містить необхідні компоненти для побудови САК ТП. Основу інструментального середовища Trace Mode становить редактор бази каналів і редактор представлення даних. У редакторі бази каналів створюється математична основа системи керування: описуються конфігурації всіх робочих станцій, контролерів і пристроїв узгодження з об'єктом, що використовуються в системі керування, налаштовуються інформаційні потоки між ними, описуються вхідні і вихідні сигнали і їх зв'язок з пристроями збору даних і керування. У цьому редакторі задаються періоди збору або формування сигналів, налаштовуються закони первинної обробки та керування, технологічні межі, структура математичної обробки даних, а також встановлюється, які дані і за яких умов зберігати в різних архівах Trace Mode і налаштовується мережевий обмін даними. Крім того, редактор дозволяє описувати завдання керування архівами, документуванням, корекції тимчасових характеристик системи керування і вирішувати деякі інші завдання [22].

Основними технологічними змінним процесу екстракції є витрати бензину та лужного розчину, а також концентрація сіркових сполук на виході екстрактора. Задачею системи автоматизації є досягнення відповідно до норм концентрації сіркових сполук у бензині на виході з екстрактора. Керування

зазначеною концентрацією відбувається шляхом зміни співвідношення між витратами бензину та лужного розчину [23].

Програма для розробленої SCADA-системи була написана мовою FBD (Functional block diagram). Ця мова програмування передбачає розміщення блоків на полі вікна. У робочому полі вікна редагування FBD-програм виводиться діаграма з функціональних блоків, яка реалізує програмні алгоритми, список змінних програми та діалог керування редагуванням.

Елементарною ланкою розробки програм на мові FBD є функціональний блок.

Блок - це графічне зображення виклику однієї з функцій, реалізованих в мові. Це можуть бути або стандартні, вбудовані в систему функції або розроблені користувачем. Приклад блоку ПІД-регулятора наведено нижче [22].

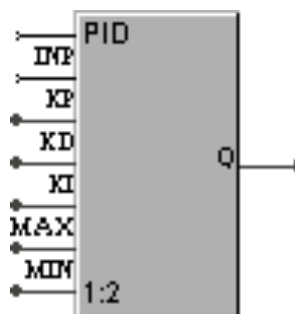


Рис. 2.7. Блок ПІД-регулятора

Кожен функціональний блок має наступні атрибути: функція, номер, входи і виходи. Для даного блоку це: функція - PID регулювання, номер на діаграмі - 1: 2, його входи - INP, KP, KD, KI, MAX, MIN, його вихід - Q.

На рис. 2.8. зображено розроблену програму керування на мові FBD.

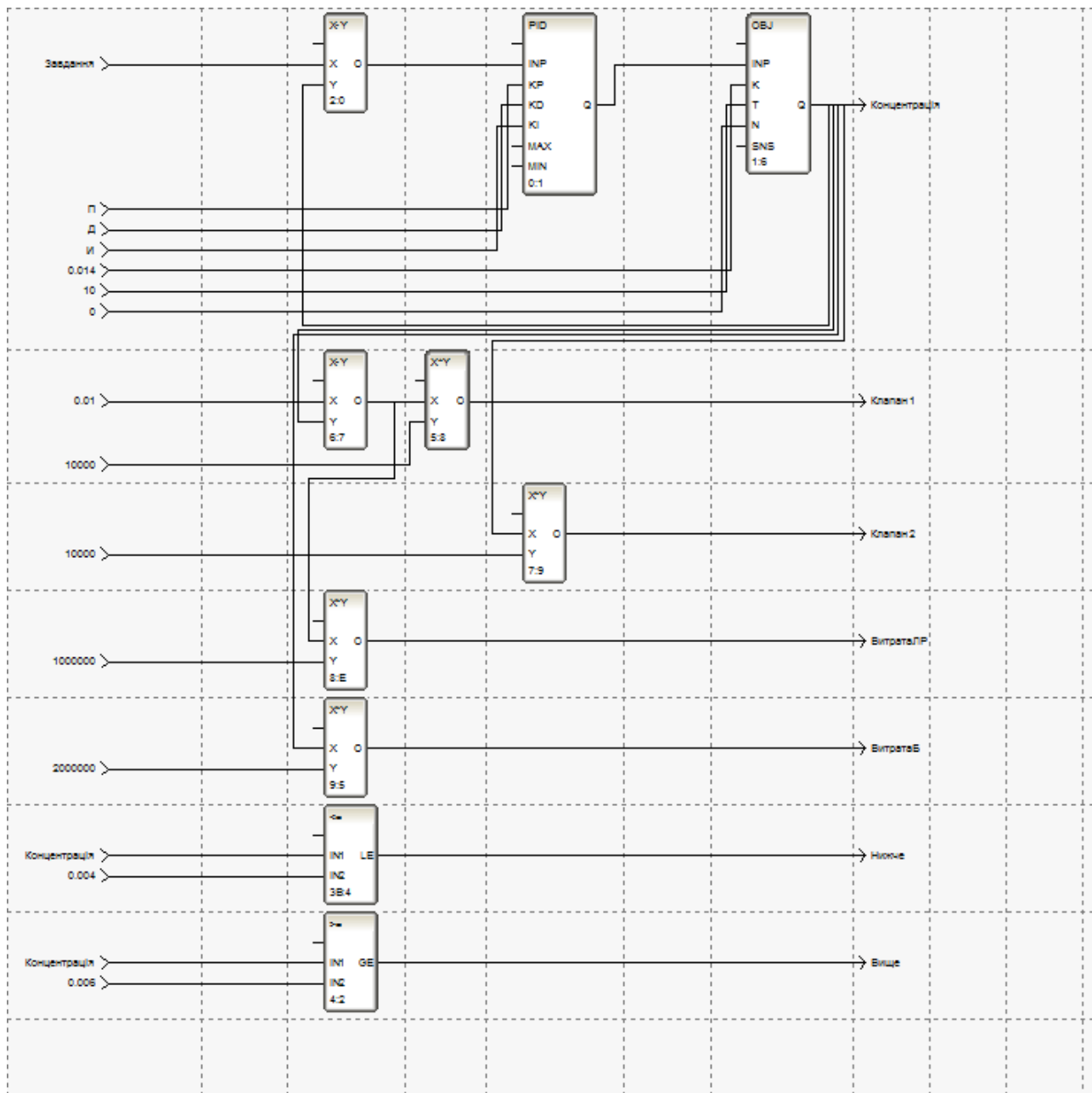


Рис. 2.8. Програма регулювання концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора

На рис. 2.9. зображено інтерфейс розробленої SCADA-системи.

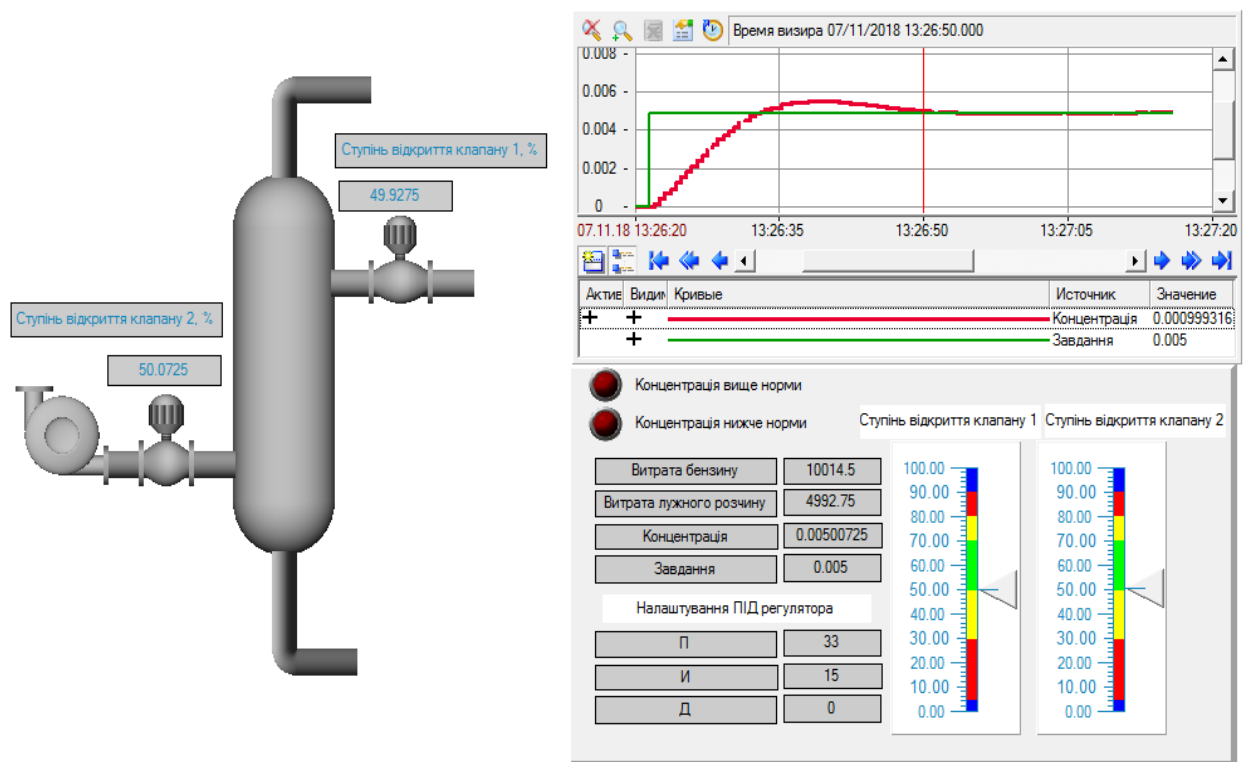


Рис. 2.9. Інтерфейс розробленої SCADA-системи

Розроблена програма на основі SCADA системи виконує наступні функції:

- встановлення завдання системі та виведення інформації про значення параметрів та ступінь відкриття клапанів у реальному часі;
- представлення інформації у вигляді мнемосхеми;
- сигналізація про вихід концентрації сіркових сполук за межі норми;
- введення параметрів ПІД-регулятора.

На екрані інтерфейсу ми маємо вікно на якому можемо бачити дані про поточну концентрацію сіркових сполук на виході з екстрактора та її зміну в часі. Це вікно зображено на рис. 2.10.

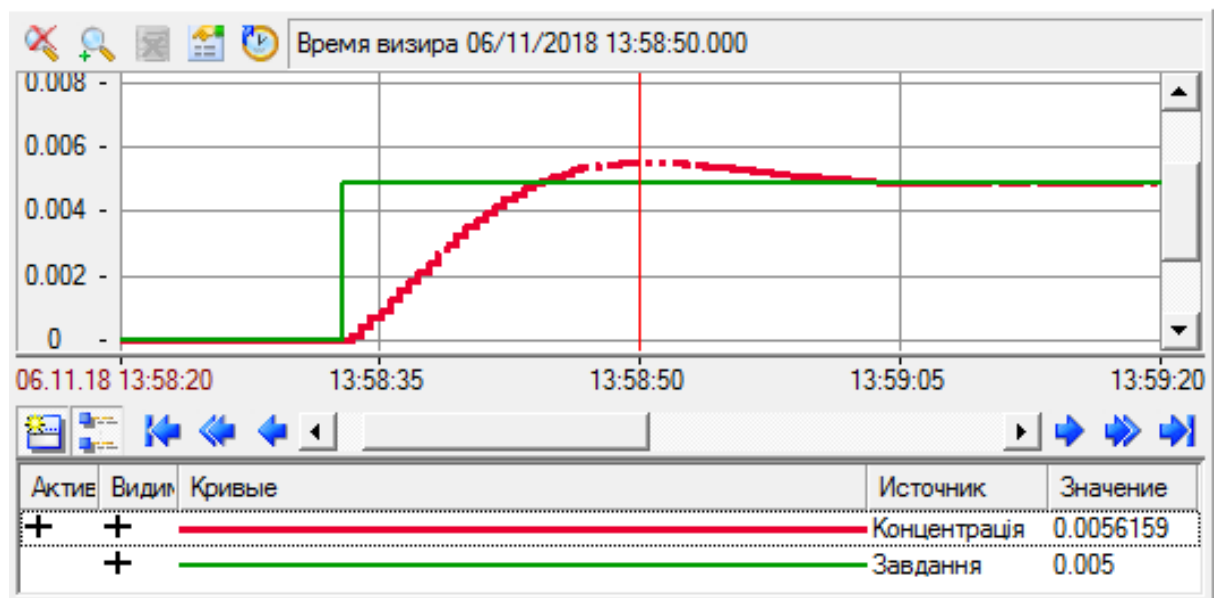


Рис. 2.10. Вікно зміни концентрації в часі

Розроблена SCADA-система для керування процесом екстракції очищення бензину від сіркових сполук забезпечує користувача достатньою інформацією про стан процесу та дозволяє вносити необхідні зміни в систему керування для забезпечення якості продукту.

Висновки до розділу 2

В 2 розділі були розроблені і описані наступні схеми:

- схема автоматизації процесу очищення бензину від сіркових сполук;
- схема дистанційного керування і аварійного захисту та технологічного блокування електродвигунів;
- монтажно-комутаційна схема з'єднань дистанційного керування, аварійного захисту і технологічних блокувань електродвигунів.

У розділі були описані сучасні засоби мікропроцесорної та вимірювальної техніки, що були використані в системі автоматизації.

Розроблено програмне забезпечення на основі керування процесом екстракції на основі SCADA-системи Trace Mode, призначене для відображення процесу екстракції у реальному часі.

3. ДОСЛІДЖЕННЯ БАРБОТАЖНОГО РЕАКТОРА У ПРОЦЕСІ ОЧИЩЕННЯ БЕНЗИНУ ВІД СІРКОВИХ СПОЛУК

Задачами дослідження є знаходження статичної та динамічної моделей барботажного реактора для каналу керування. Динамічну модель заплановано подати у вигляді передавальної функції. На основі цієї моделі в подальшому буде налаштовано відповідний регулятор. Статична характеристика призначена для перевірки лінійності каналу керування.

Розрахункову схему барботажного реактора наведено на рис 3.1.

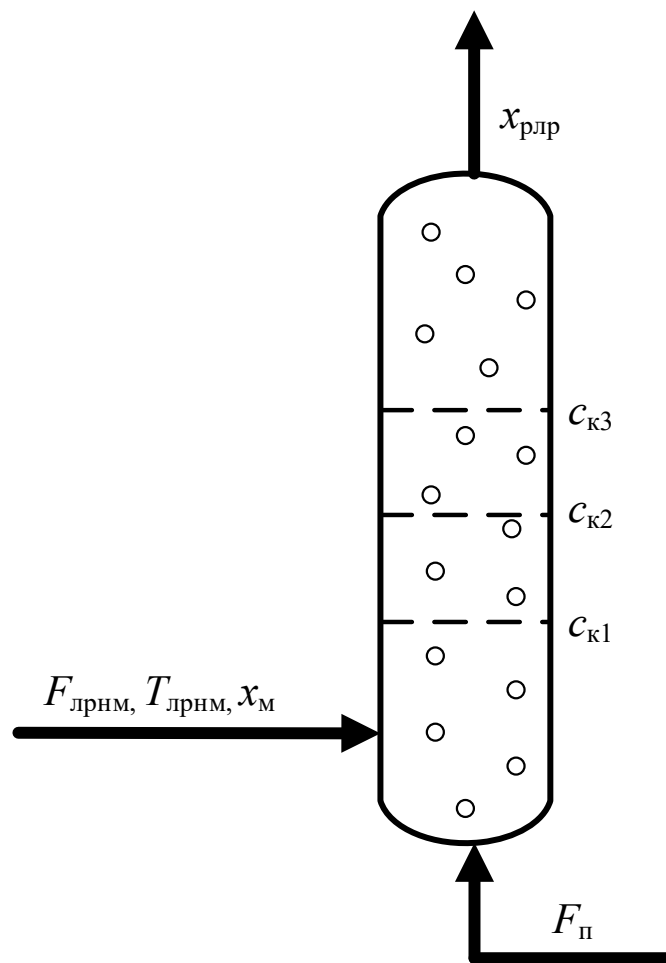


Рис. 3.1. Розрахункова схема барботажного реактора: $F_{\text{лрнм}}$ – витрата лужного розчину насиченого меркаптанами кг/с; $F_{\text{лрнм}}$ – витрата лужного розчину насиченого меркаптанами кг/с; $T_{\text{лрнм}}$ – температура лужного розчину насиченого меркаптанами °С; $x_{\text{м}}$ – концентрація меркаптанів у лужному розчині кг /кг; $F_{\text{п}}$ – витрата повітря кг/с; $x_{\text{рлр}}$ – концентрація NaOH в регенованому лужному розчині %; $C_{\text{к1}}$, $C_{\text{к2}}$, $C_{\text{к3}}$ – властивості каталізатора на 1, 2 та 3 полицках каталізатора відповідно.

Керування відбувається за каналом «співвідношення витрат повітря та лужного розчину насиченого меркаптанами – концентрація NaOH в регенованому лужному розчині на виході, $F_{\text{п}}/F_{\text{лрнм}} \rightarrow x_{\text{рлр}}$ » (див. розділ 2). На рис 3.2. наведена структурно-параметричну схему барботажного реактора.

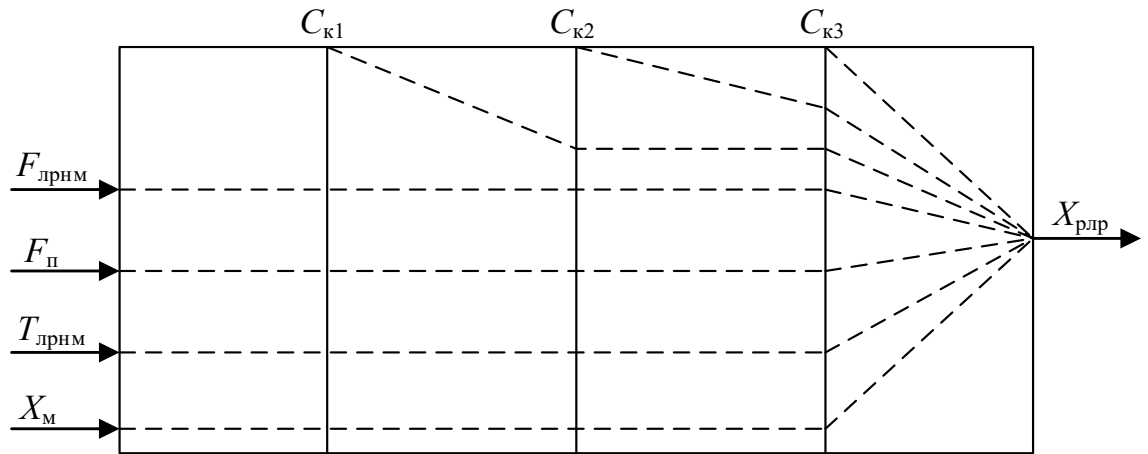


Рис. 3.2. Структурно-параметрична схема барботажного реактора

3.1. Основи математичного моделювання барботажного реактора аналітичним методом

Барботажна колона - це апарат, в якому безперервна газова фаза у вигляді бульбашок рухається відносно неперервної рідкої фази. Барботажні колони мають перевагу перед іншими апаратами для змішування, тому що механічно простіші та не мають рухомих частин, що призвело до легшого обслуговування. Вони також мають високу швидкодію масової передачі між газовими і рідкими фазами, хорошу теплопередачу характеристики та великі затримки рідини, які сприятливі для повільних рідких фазових реакцій [24].

Простий аналіз масопередачі всередині бульбашки показує, що на процес масопередачі впливає ряд чинників: площа контакту між поверхнями газової і рідкої фаз, час контакту бульбашок з рідиною та швидкість масової передачі окремих бульбашок. Площа контакту залежить від діаметра бульбашки. При зменшенні розмірів бульбашок збільшується площа контакту. Час контакту залежить в основному від діаметру бульбашки, менші бульбашки зростають повільніше ніж великі. Проте, просто зменшити розмір бульбашок може бути

не найбільш економічно ефективним рішенням для досягнення високої ефективності масової передачі, коли ми враховуємо складність створення малих бульбашок на практиці. Крім того, на час контакту також впливає детальна структура струменя, така як циркуляція потоку, яка впливає на швидкість бульбашок в реакторі. Крім того, швидкість передачі окремих бульбашок не може бути легко визначена, оскільки вона залежить від взаємодії між процесом масового перенесення та детальною структурою потоку.

Тому, щоб знайти необхідні умови експлуатації, ми повинні використовувати реалістичну модель, яка враховує складний і нестационарний характер процесів у середині реактора.

На відміну від аналізу з погляду часу і простору, моделювання процесу масового перенесення в бульбашках з погляду механіки рідини допоможе нам зрозуміти механізми явища більш фундаментальним способом. Флейшер [25] був першим, хто розробив одновимірну модель розчинення двоокису вуглецю в водному розчині натрійгідроксиду. Бауер і Ейгенбергер [26] запропонували багатовимірний підхід, в якому спрощена модель реактора взаємодіє з детальними моделями гідродинаміки, масопереносу та бульбашкової взаємодії. Виходячи з багатовимірного підходу, вони проаналізували вплив гідродинаміки на локальний та глобальний масовий перенос. Багаторівнева концепція моделювання була продовжена в подальших дослідженнях, в якій барботажний реактор з неізотермічною реакцією моделювали і симулювали. Модель описана Бауером і Ейгенбергером використовує функцію щільності бульбашок, для визначення локального розміру бульбашки. Модель, яка використовує метод Ейлера-Лагранжа явно враховує рух і зміну діаметра окремих бульбашок. Процес масопереносу всередині бульбашки дуже тісно пов'язаний з місцевим потоком бульбашок.

У даному дослідженні ми розглядаємо суміш рідини та бульбашок як безперервну фазу, рух якої імітується за допомогою опису Ейлера. Для чисельного моделювання використовуються наступні рівняння управління.

Збереження маси для безперервної фази описується наступним рівнянням.

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_L \rho_L) + \nabla(f_L \rho_L u_L) = 0 \quad (3.1)$$

де, f_L - об'ємна частка рідини, ρ_L -щільність, u_L - швидкість рідкої фази.

Щільність рідкої фази розглядається як постійна, а розчинена маса газової фази знехтувана у збереженні маси, оскільки щільність газу, ρ_G - приблизно 1/1000 щільності рідини ρ_L у даному дослідженні.

Починаючи з усереднених рівнянь для двофазного потоку з двошаровою моделлю, у нас є рівняння імпульсу для кожної фази, як:

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_k \rho_k u_k) + \nabla(f_k \rho_k u_k u_k) = -f_k \nabla p + \nabla(f_k \tau_k) + f_k \rho_k g + F_{\text{int}} \quad (3.2)$$

де, τ_k – час контакту фаз, g – прискорення вільного падіння; F_{int} – сила взаємодії двох фаз.

Додаючи рівняння імпульсу для кожної фази, ми отримали рівняння імпульсу для суміші газу з рідиною:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(f_L \rho_L u_L) + \nabla(f_L \rho_L u_L u_L) + \frac{\partial}{\partial t}(f_G \rho_G u_G) + \nabla(f_G \rho_G u_G u_G) = \\ -(f_L + f_G) \nabla p + \nabla(f_L \tau_L + f_G \tau_G) + (f_L \rho_L + f_G \rho_G) g \end{aligned} \quad (3.3)$$

Є дві важливі зміни в рівнянні (3.3), в порівнянні з рівнянням (3.2):

- 1) Умови взаємодії сил між двома стадіями скасовуються один з одним;
- 2) Тиск в (3.3) стає $(f_L + f_G) \nabla p$, який містить як частки з газової фази, так і рідкої фази.

Використовуючи відношення, $f_L + f_G = 1$, і враховуючи, що щільність рідини набагато більша, ніж газу, збереження імпульсу в суміші газу та рідині остаточно має наступний вид:

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(f_L \rho_L u_L) + \nabla(f_L \rho_L u_L u_L) = \\ -\nabla p + \mu_e \nabla \left\{ \nabla u_L + (\nabla u_L)^T - \frac{2}{3} \nabla u_L \right\} + f_L \rho_L g \end{aligned} \quad (3.4)$$

де, μ_L – в'язкість.

У нашому підході Ейлера-Лагранжа бульбашки розглядаються як дискретні елементи їх рухи відслідковуються індивідуально, використовуючи другий закон Ньютона. В даній роботі використовуються наступні спрощення та припущення.

1) Бульбашки, оброблені в даному випадку невеликі, діаметром менше 1 мм;

2) Простір без бульбашок становить менше 3%, який є досить малим, щоб ми могли ігнорувати зіткнення бульбашок.

3) Зміна діаметра бульбашок залежить від зміна тиску в апараті.

Після виконання необхідних підстановок та операцій ми отримали рівняння конвекції та дифузії газу в рідині:

$$\frac{\partial}{\partial t}(f_L c_L) + \nabla(f_L c_L u_L) = -\nabla[D\nabla(f_L c_L)] + S_L - S_D \quad (3.5)$$

де, c_L – концентрація розчиненого газу в рідині; D – коефіцієнт молекулярної дифузії; S_L – коефіцієнт розповсюдження бульбашок у рідині; S_D – коефіцієнт саморозчеплення газу в рідині. S_D залежить від властивостей хімічної операції [27].

Як видно описана модель має досить високу складність, а також не враховуються властивості каталізатора, що є дуже важливим для нашого процесу. Також ми не можемо визначити такі параметри, як коефіцієнт саморозчеплення газу в рідині та коефіцієнт молекулярної дифузії. Тому наступне моделювання буде виконуватись за рахунок обробки експериментальних даних.

3.2. Організація експериментальних досліджень барботажного реактора

Оскільки існує проблема аналітично створити математичну модель, придатну для керування процесом, було прийнято рішення отримати передавальну функцію каналу керування барботажного реактора за результатами спланованих експериментів.

У процесі регенерації лужного розчину основним керувальним впливом є витрата повітря. Для отримання динамічної характеристики ми стабілізуємо усі впливи крім керувального [28].

На рис. 3.3. зображена експериментальна схема керування барботажним реактором.

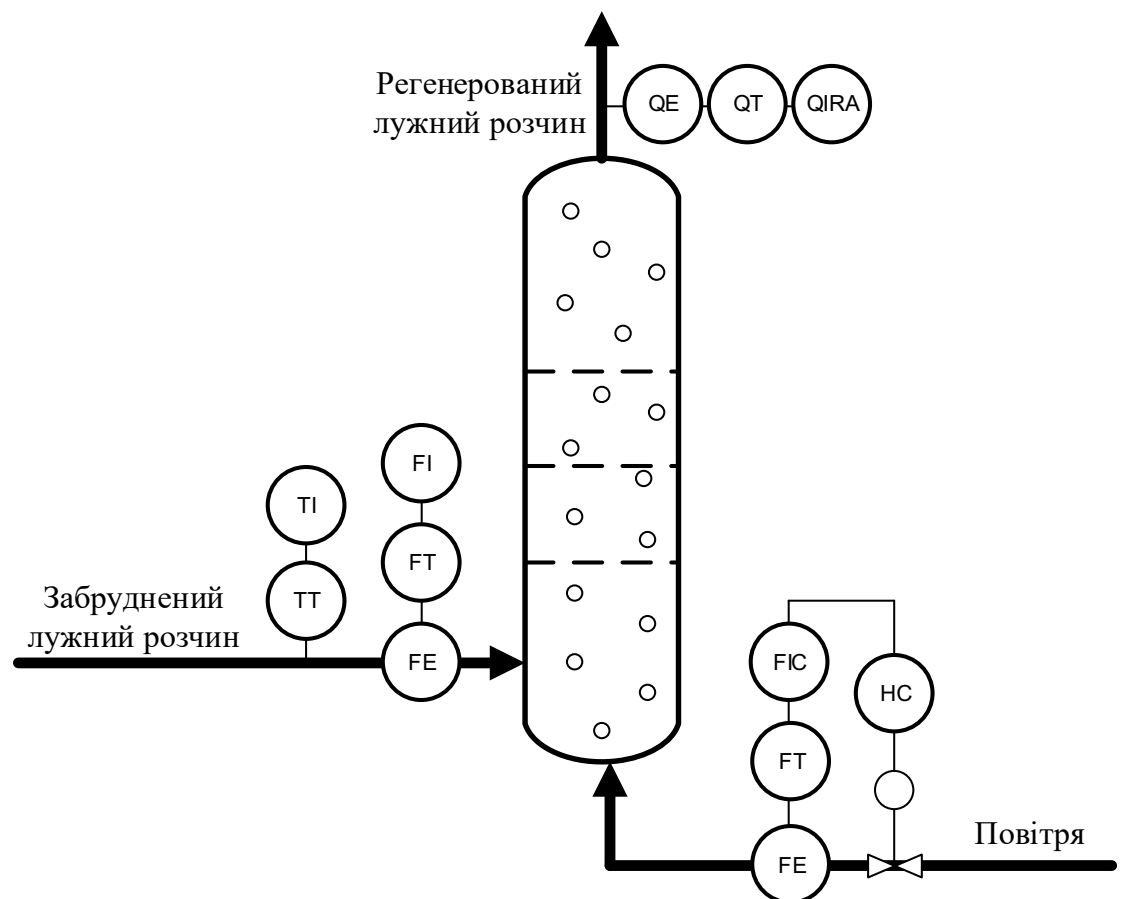


Рис. 3.3. Експериментальна схема керування барботажним реактором

Експеримент повинен проводитись шляхом роз'єднання регулятора з каналом керування для дослідження впливу витрати повітря на концентрацію NaOH у регенованому лужному розчині.

Керувальні впливи повинні наноситись наступним чином: спочатку встановлюємо початкову витрату повітря та певний час вимірюємо

концентрації NaOH у лужному розчині. Згідно плану експерименту по відношенню до цього початкового режиму витрату повітря буде змінено чотири рази: два рази знизимо і два рази підвищимо.

Отримані експериментальні дані представленні в додатку 1.

На рис. 3.4-3.6 – зображені результати вимірювань за час проведення експерименту

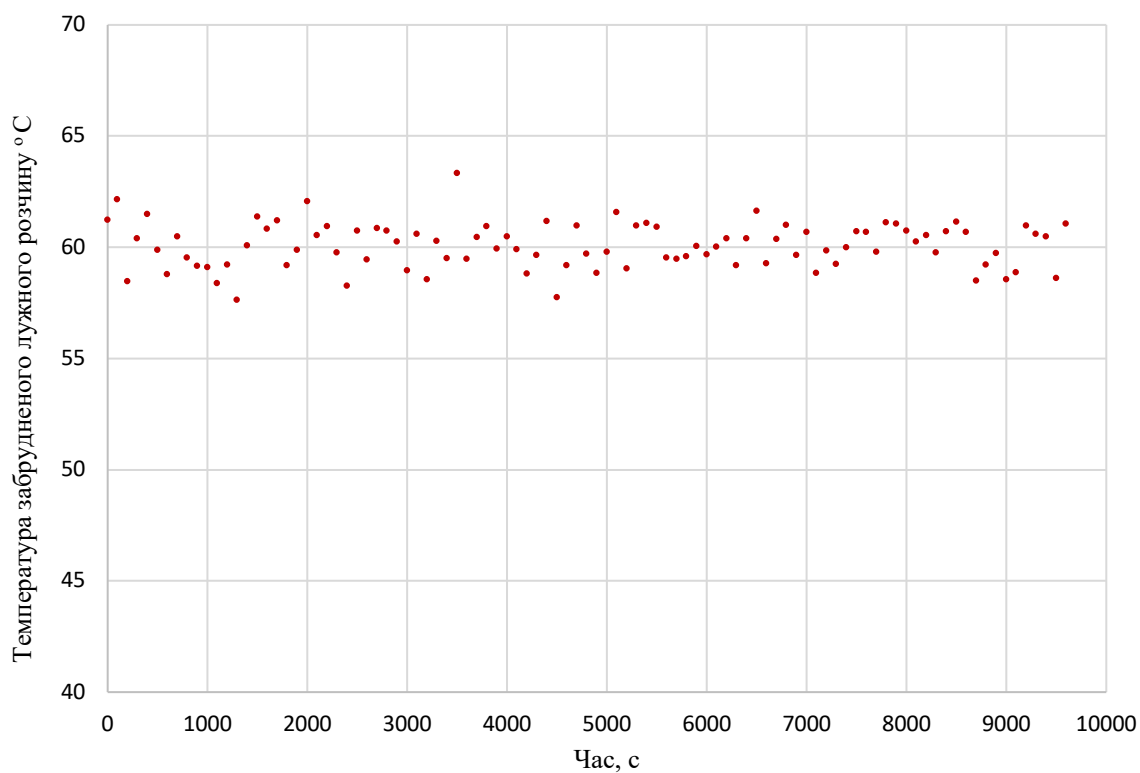


Рис. 3.4. Зміна температури забрудненого лужного розчину в часі

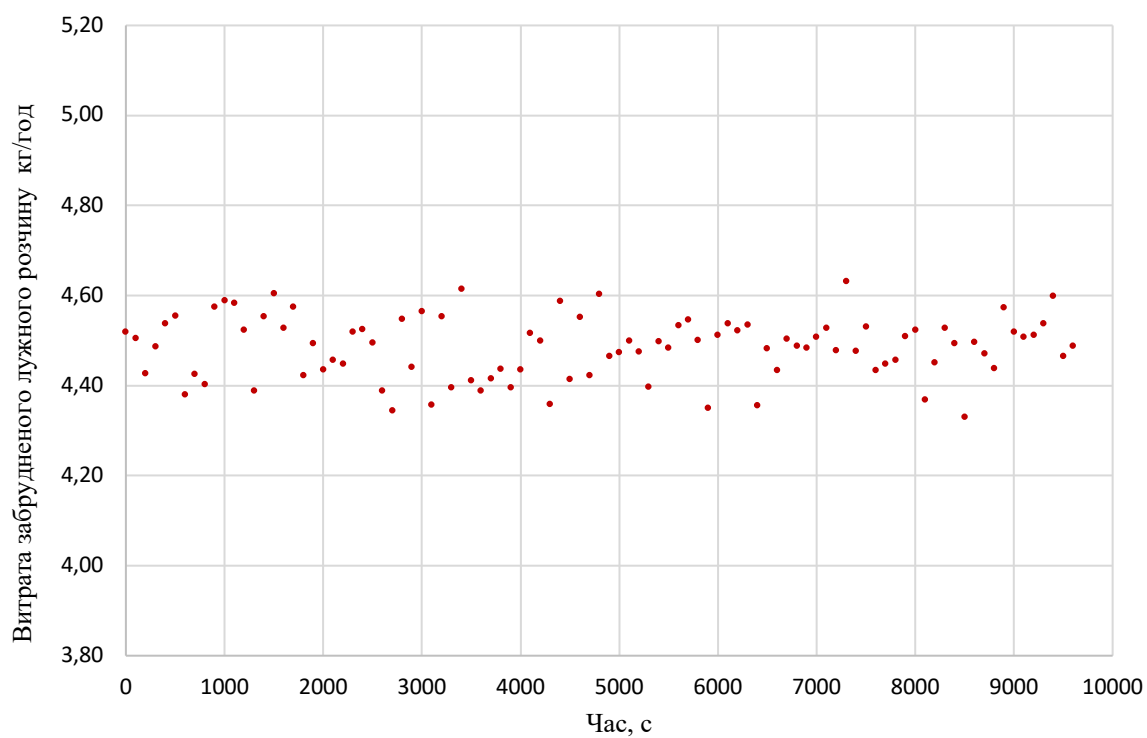


Рис. 3.5. Зміна витрати забрудненого лужного розчину в часі

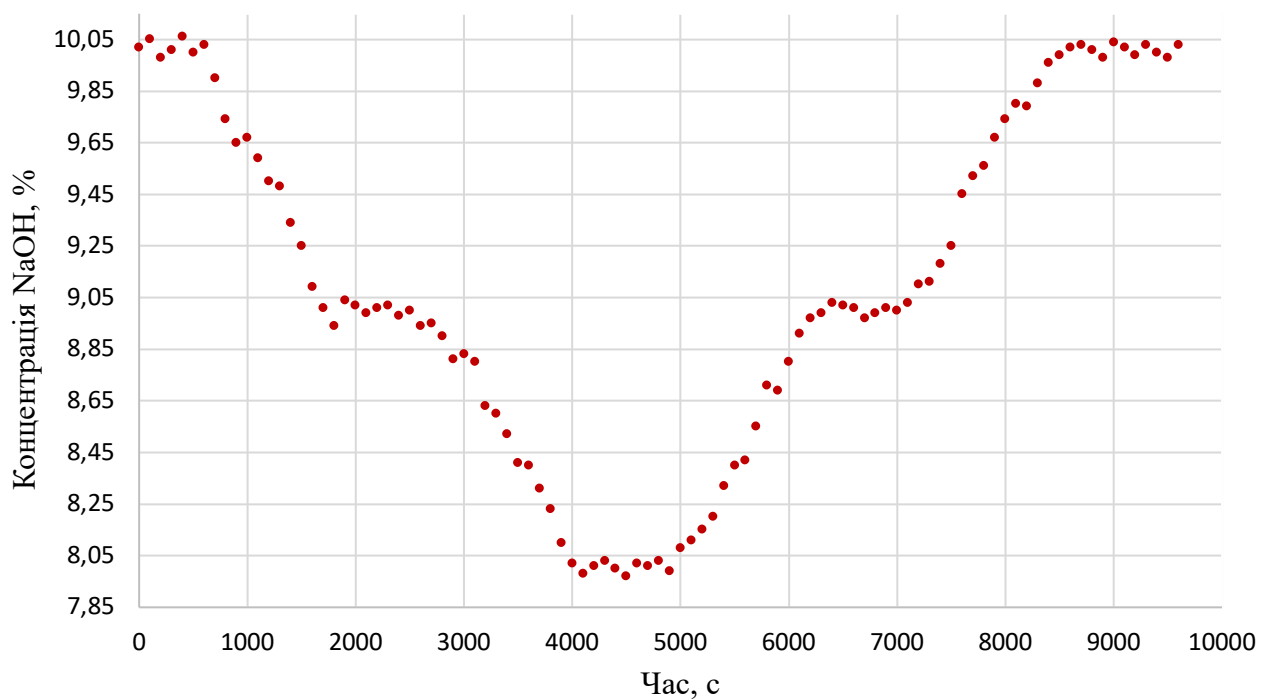


Рис. 3.6. Зміна концентрації NaOH у лужному розчині в часі

3.3. Обробка результатів експериментальних досліджень барботажного реактора

За результатами експериментів, на жаль, ми отримали тільки три різні статичні режими роботи барботажного реактора. Але і вони дозволяють нам побудувати статичну характеристику за каналом керування та побачити залежність між витратою повітря та концентрацією NaOHу лужному розчині на виході з барботажного реактора.

Побудована статична характеристика за каналом керування зображена на рис. 3.7.

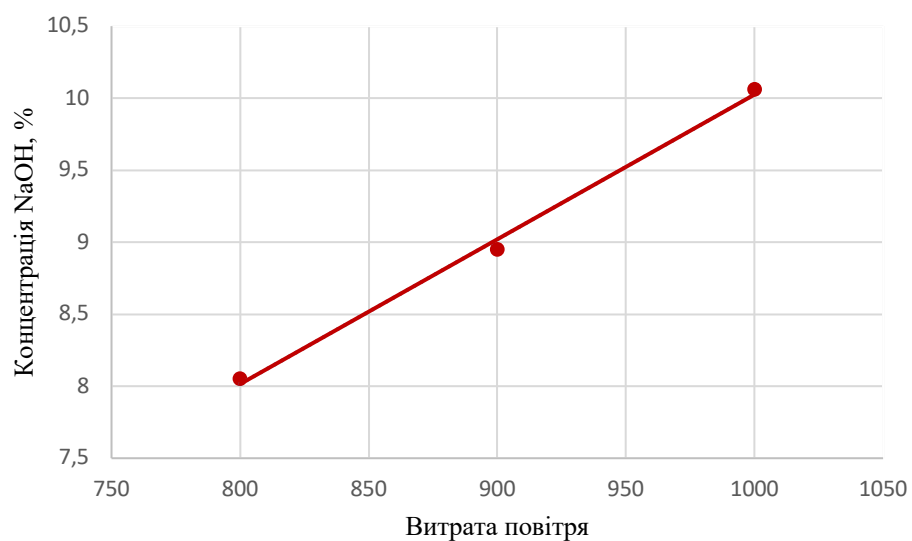


Рис. 3.7. Статична характеристика за каналом керування

Із отриманої статичної характеристики видно, що збільшення витрати повітря призводить до збільшення концентрації NaOHу лужному розчині, а також, що її можна визнати лінійною в області експериментальних значень.

Для ідентифікації об'єктів будемо використовувати пакет *System Identification Toolbox*, що входить до складу *Matlab*. Пакет *System Identification Toolbox* містить засоби для створення математичних моделей лінійних динамічних об'єктів (систем) на основі спостережуваних вхідних/вихідних даних. Для цього він має зручний графічний інтерфейс, що допомагає організувати дані й створювати моделі без використання функцій командного режиму роботи [29].

З експериментальною перехідною характеристикою порівнювались:

- 1) аперіодична ланки 1-го порядку (P1);
- 2) аперіодична ланка 1-го порядку з запізненням (P1D);
- 3) аперіодична ланка 2-го порядку (P2);
- 4) аперіодична ланка 2-го порядку з запізненням (P2D).

Результати порівняння показані на рис. 3.8.

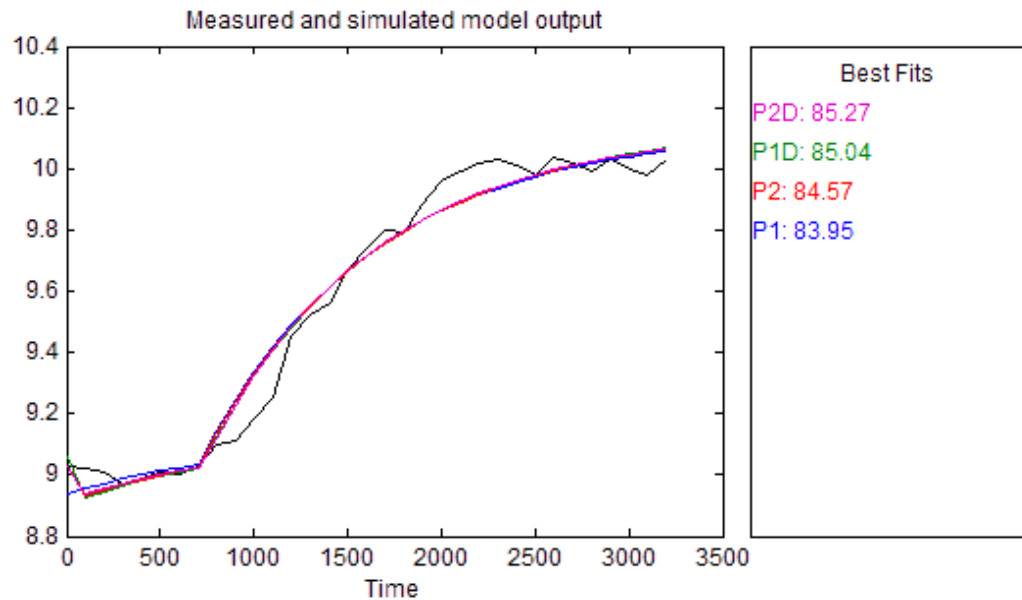


Рис. 3.8. Результат роботи у *System Identification Toolbox*

На рис. 3.9. зображено перехідні характеристики отриманих передавальних функцій.

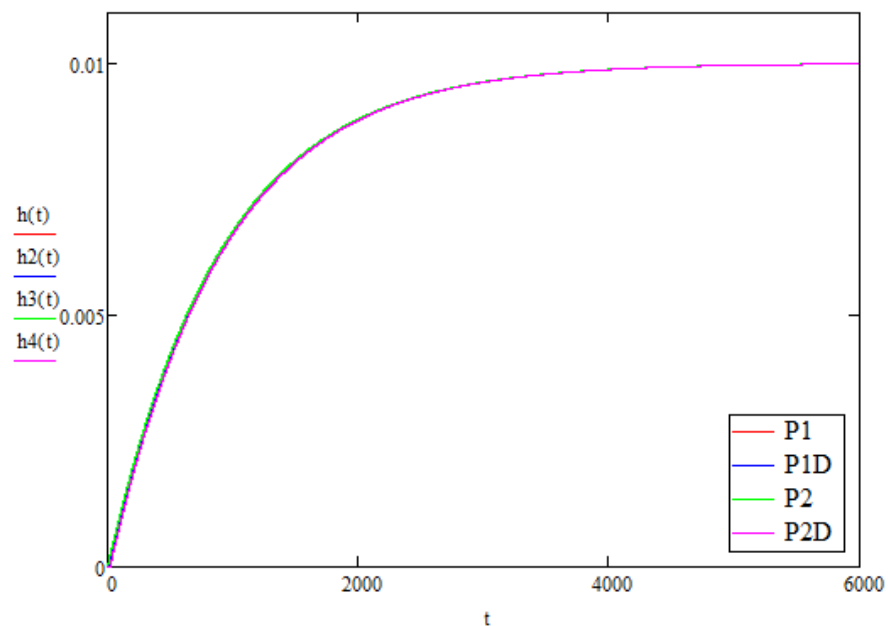


Рис. 3.9. Перехідні характеристики отриманих передавальних функцій

За результатами порівняння найкраще описує об'єкт модель, яка використовує аперіодичну ланку 2-го порядку з транспортним запізненням. Передавальна функція по каналу керування «витрата повітря – концентрація NaOH у лужному розчині» має наступний вигляд:

$$W = \frac{0.01}{(1 + 899 \cdot s) \cdot (1 + 0.35 \cdot s)} \cdot e^{-20s}$$

Перехідна характеристика по каналу керування зображена на рис. 3.10.

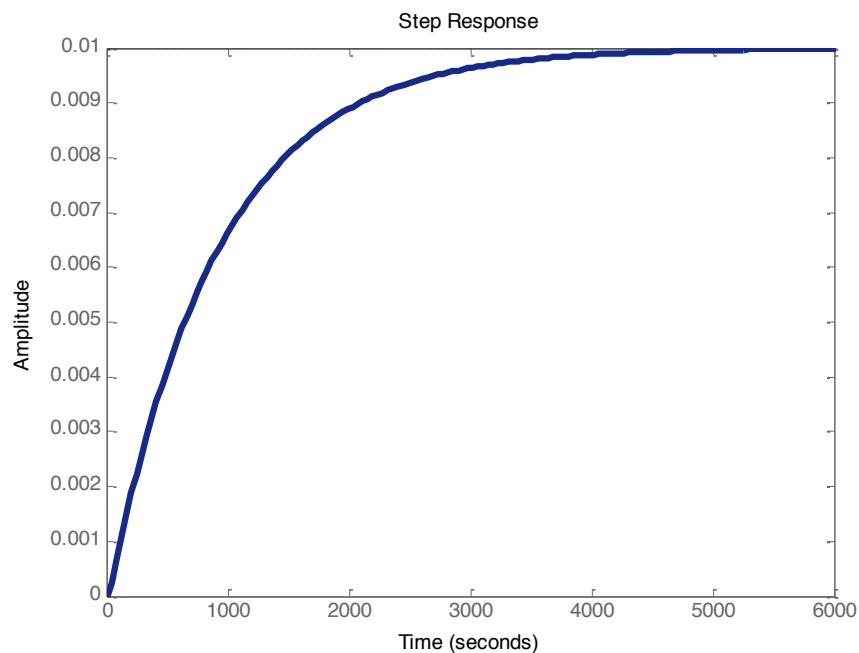


Рис. 3.10. Перехідна характеристика за каналом керування

Оскільки в нашому випадку керування буде відбуватись за рахунок співвідношення витрат повітря та забрудненого лужного розчину, нам необхідно розрахувати новий коефіцієнт передачі з врахуванням витрати забрудненого лужного розчину. Для цього нам необхідно помножити отриманий коефіцієнт передачі на витрату забрудненого лужного розчину. Отримана передавальна функція по каналу керування «співвідношення витрат повітря та лужного розчину – концентрація NaOH у лужному розчині» має наступний вигляд:

$$W = \frac{0.045}{(1 + 899 \cdot s) \cdot (1 + 0.35 \cdot s)} \cdot e^{-20s}$$

Перехідна характеристика по каналу керування зображена на рис. 3.11.

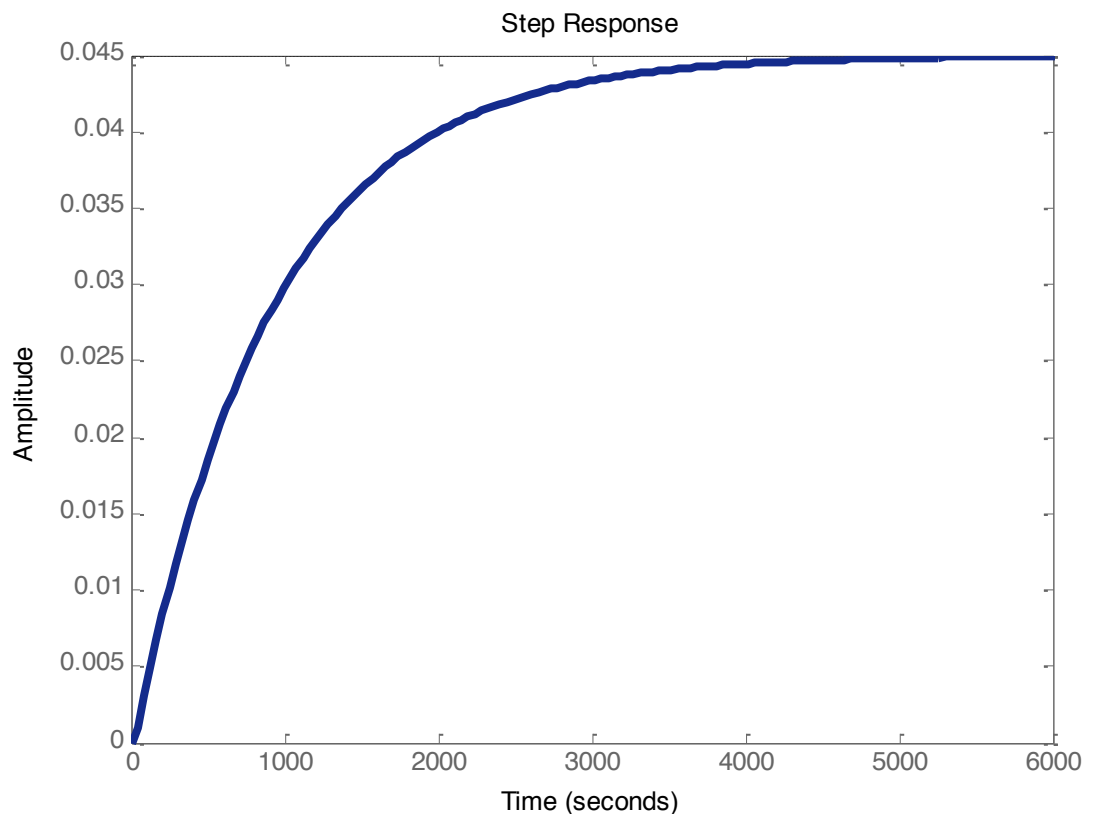


Рис. 3.11. Перехідна характеристика за каналом керування

3.4. Дослідження властивостей каталізатора

Процес регенерації проходить в присутності каталізатора. Властивості каталізатора змінюються з часом. В результаті чого необхідно проводити відновлення каталізатора. Через те, що ми не можемо безпосередньо з'ясувати як змінилися властивості каталізатора, ми проведемо дослідження. Дослідження буде проходити шляхом знімання даних, які ми зможемо виміряти, а саме відношення витрати повітря до витрати забрудненого лужного розчину. Оскільки на регулятор співвідношення надходить завдання з регулятора концентрації NaOH у лужному розчині він постійно змінює витрати повітря та забрудненого лужного розчину. Через те, що регенеративна потужність каталізатора з часом знижується, регулятор співвідношення поступово збільшує витрату повітря. Мета досліді побачити як збільшується відношення витрати повітря до витрати забрудненого лужного розчину з часом.

При досягненні співвідношення витрат критичного значення ми зможемо дізнатись коли необхідно проводити відновлення каталізатора.

В таблиці 3.2. наведені експериментальні дані.

№	Час, день	Відношення витрат м ³ / год	№	Час, день	Відношення витрат м ³ / год
1	1	222	16	16	371
2	2	229	17	17	378
3	3	235	18	18	383
4	4	248	19	19	390
5	5	259	20	20	397
6	6	270	21	21	405
7	7	291	22	22	412
8	8	298	23	23	419
9	9	313	24	24	425
10	10	324	25	25	428
11	11	333	26	26	434
12	12	340	27	27	438
13	13	352	28	28	442
14	14	361	29	29	446
15	15	366	30	30	450

На рис. 3.12. зображені експериментальні дані.

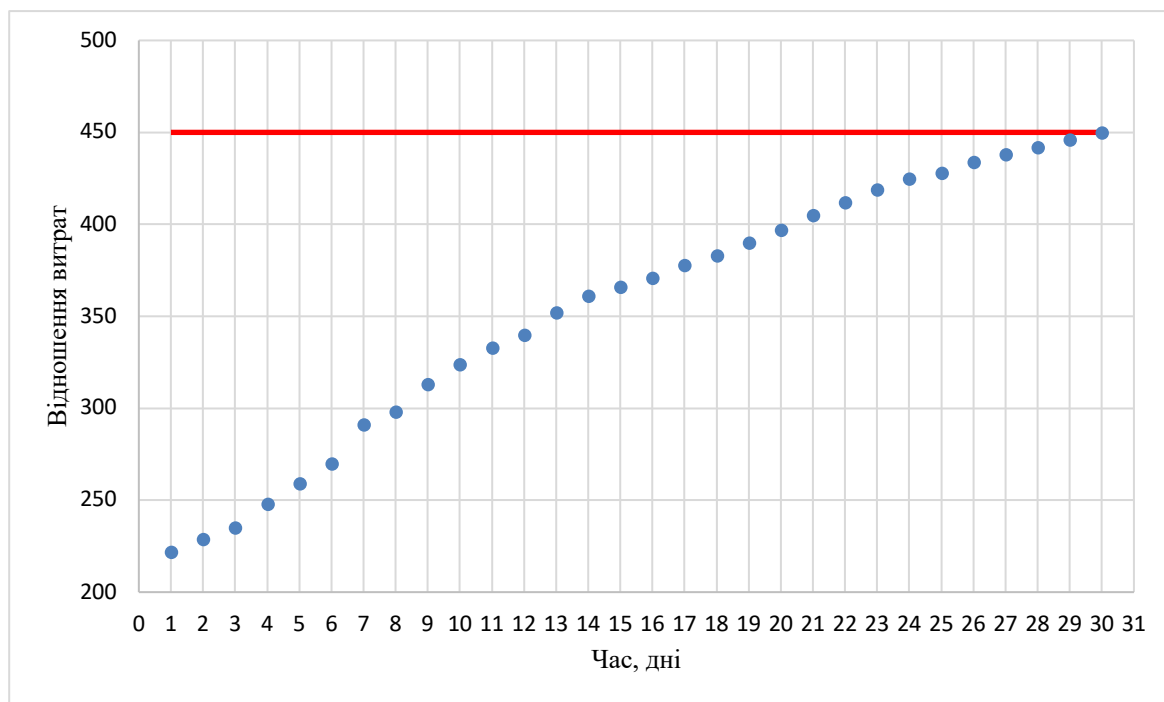


Рис. 3.12. Зміна відношення витрат повітря та забрудненого лужного розчину в часі

Оскільки з часом коефіцієнт передачі змінюється, то можна розділити отриманий графік на 3 умовні зони, де ми приймаємо різні коефіцієнти передачі для динамічної характеристики.

Висновки до розділу 3

У 3 розділі було розглянуто основи математичного моделювання барботажного реактора. Було організовано експериментальні дослідження барботажного реактора для ідентифікації моделей статичного та динамічного режимів за каналом керування «співвідношення витрат повітря та лужного розчину – концентрація NaOH у лужному розчині».

У результаті обробки експериментальних даних засобами Matlab визначено лінійність каналу керування та отримано його передавальну функцію.

Також було досліджено властивості каталізатора, а саме враховано забруднення каталізатора та рекомендації по його відновленню, а також досліджено зміну коефіцієнту передачі динамічної характеристики, в результаті чого ми отримуємо більш точне відображення процесу.

4. СИНТЕЗ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ БАРБОТАЖНИМ РЕАКТОРОМ ТА ЕКСТРАКТОРОМ

4.1. Налаштування регулятора для системи керування барботажем реактором

Для порівняння характеристик перехідного процесу ми будемо налаштовувати ПІ- та ПІД- регулятори. Після чого візьмемо ту систему, що має кращі показники якості перехідного процесу.

Система керування з ПІ-регулятором включає в себе передавальну функцію, ланку транспортного запізнення, блок завдання та блок ПІ-регулятора. На рис. 4.1. зображено систему керування з ПІ-регулятором.

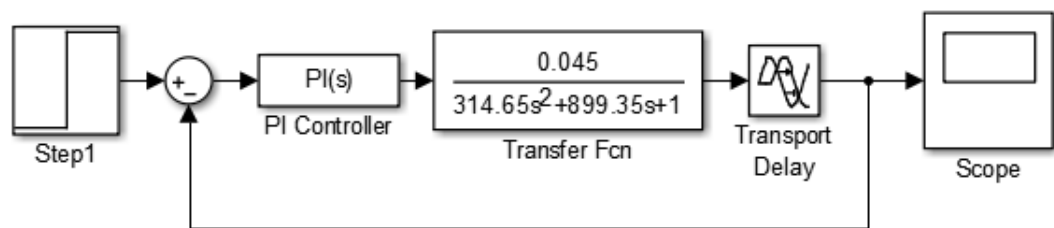


Рис. 4.1. Система керування з ПІ-регулятором

Налаштування параметрів ПІ-регулятора відбувається за допомогою вбудованих в *Matlab* засобів, а саме завдяки *PID Tuning Toolbox*. В цьому інструменті можна автоматично та вручну налаштувати ПІ регулятор, побудувати перехідну характеристику та вивести критерії якості. Для того щоб налаштувати ПІ-регулятор нам необхідно натиснути на блок ПІ-регулятора, після чого відкриється вікно, яке зображено на рис. 4.2. Після чого ми натискаємо кнопку «*Tune*» і відкривається вікно, де ми можемо побачити побудовану перехідну характеристику з врахуванням автоматично згенерованих параметрів ПІ-регулятора. За допомогою перемикачів ми можемо впливати на показники якості передавальної функції та в бачити на графіку різницю між автоматичним та ручним налаштуванням. На рис. 4.3. показано результат роботи *PID Tuning Toolbox*.

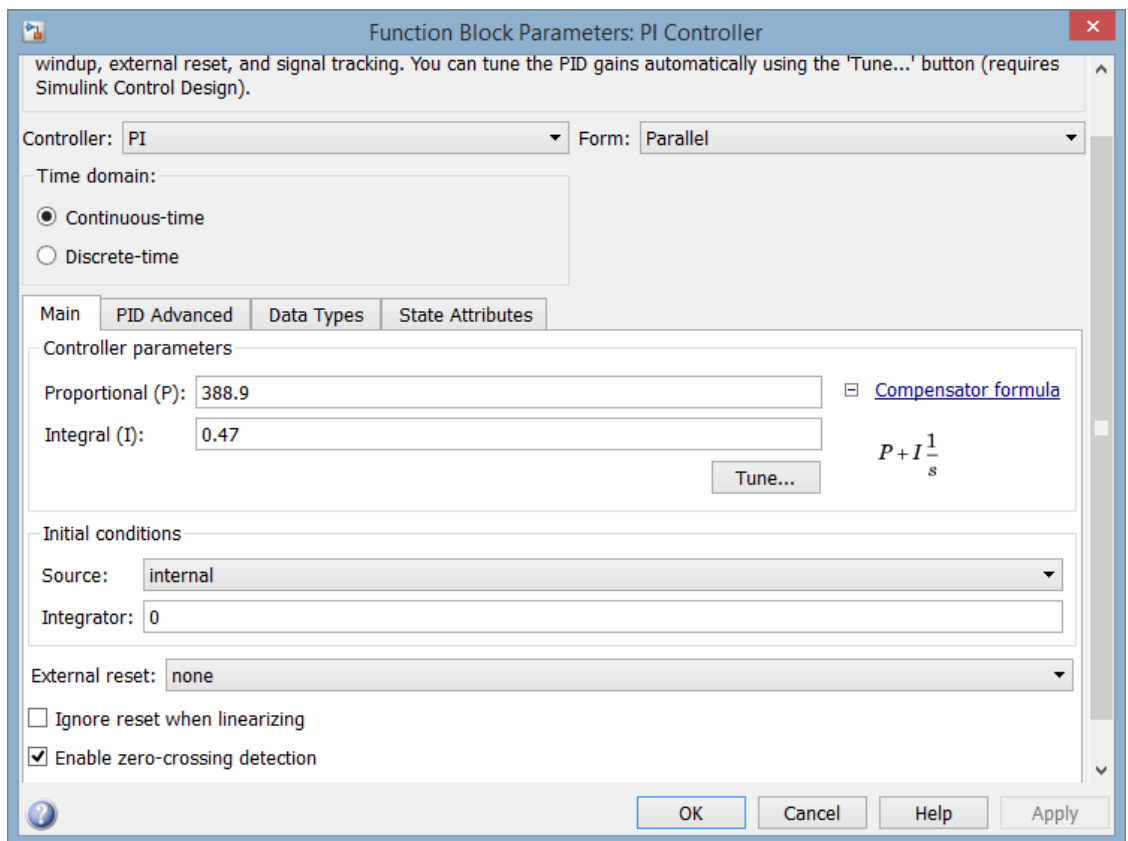


Рис. 4.2. Блок ПІ-регулятора

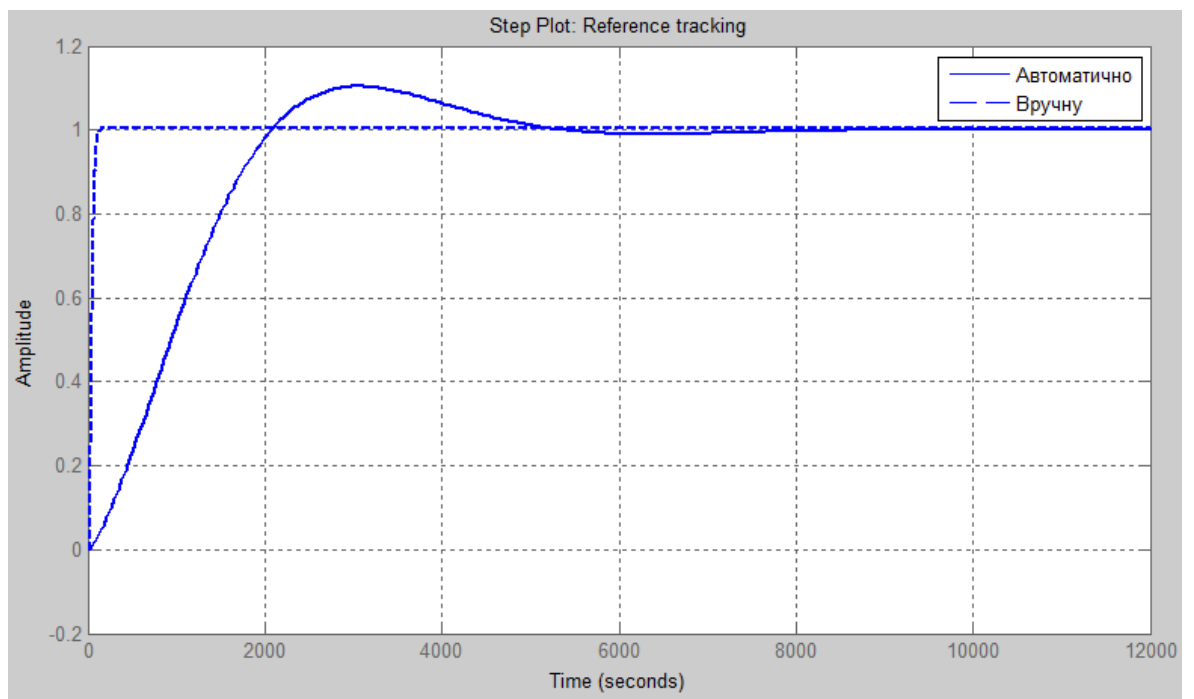


Рис. 4.3. Перехідні характеристика системи керування з ПІ-регулятором налаштованим автоматично та вручну

Проаналізувавши отримані дані з графіків перехідних процесів можна визначити потрібні критерії якості для САК з ПІ-регулятором. В таблиці 4.1. показані показники якості перехідного процесу.

Таблиця 4.1. Показники якості перехідного процесу

	Автоматично	Вручну
Час виходу на усталений режим, с	4790	111
Перерегулювання, %	10.4	0.48
Час зростання, с	1480	58

Як видно з порівняння, показники якості перехідного процесу з використанням ПІ-регулятора налаштованого вручну набагато кращі ніж отримані автоматично. Тому приймаємо параметри, які отримані при налаштуванні вручну.

Налаштування ПІД-регулятора буде відбуватись таким же чином, як і ПІ-регулятора. На рис. 4.4. показано результат роботи результату роботи *PID Tuning Toolbox*.

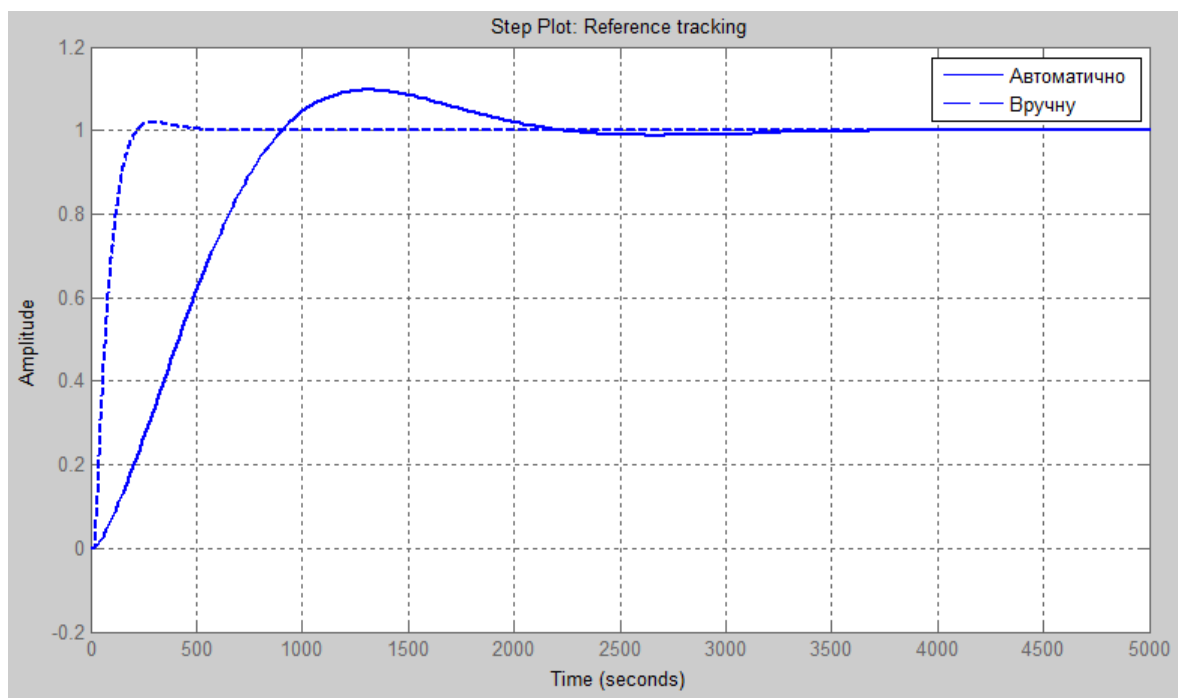


Рис. 4.4. Перехідні характеристики системи керування з ПІД-регулятором налаштованим автоматично та вручну

В таблиці 4.2. показані показники якості перехідного процесу з ПІД-регулятором.

Таблиця 4.2. Показники якості перехідного процесу

	Автоматично	Вручну
Час виходу на усталений режим, с	2000	308
Перерегулювання, %	9.68	2.03
Час зростання, с	633	121

Як і з ПІ-регулятором показники якості перехідного процесу з використанням ПІД-регулятора налаштованого вручну кращі ніж налаштовані автоматично. Тому приймаємо параметри, які отримані при налаштуванні вручну.

Для порівняння ПІ та ПІД-регуляторів побудуємо перехідні характеристики замкненої системи за каналом керування з врахуванням раніше отриманих параметрів регуляторів. На рис. 4.5. показані ці перехідні характеристики.

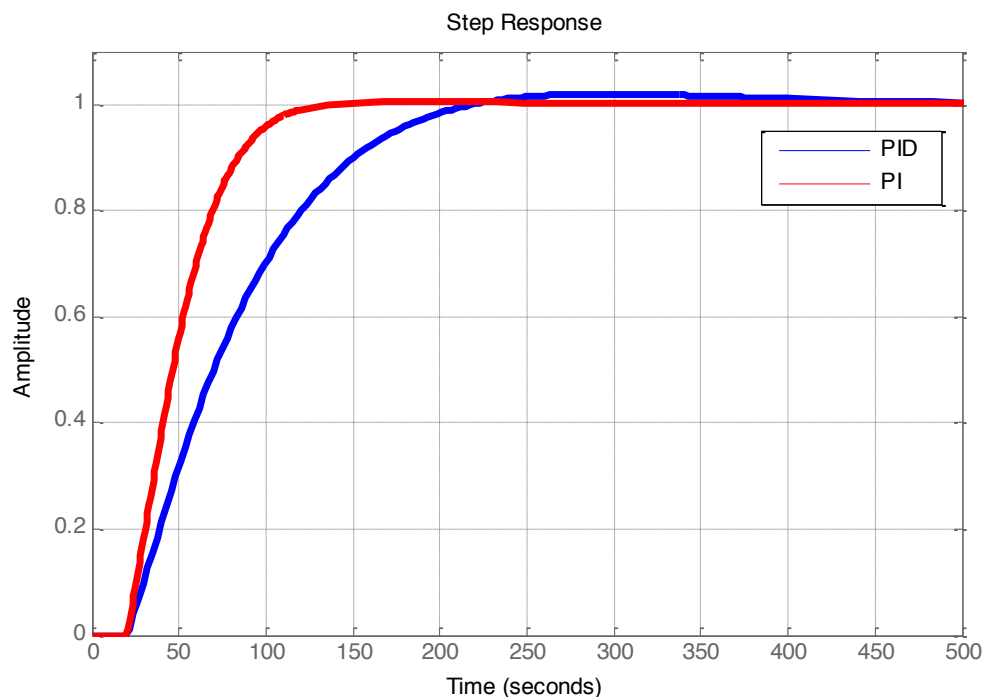


Рис. 4.5. Перехідні характеристики замкненої системи за каналом керування барботажним реактором з ПІ- та ПІД-регуляторами

В таблиці 4.3. показані показники якості перехідного процесу з ПІ- та ПІД-регулятором.

Таблиця 4.3. Показники якості перехідного процесу

	ПІ	ПІД
Час виходу на усталений режим, с	111	308
Перерегулювання, %	0.48	2.03
Час зростання, с	58	121

За результатом аналізу якості перехідного режиму система з ПІ-регулятором має кращі показники якості перехідного процесу. Тому ми будемо використовувати ПІ-регулятор для системи керування барботажним реактором.

4.2. Розробка нечіткої системи керування концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора

Поняття «нечітка логіка» введено американським математиком Л.А. Заде, який запропонував теорію нечітких множин, на основі якої можна побудувати нечіткі аналоги всіх математичних понять та створити необхідний формальний апарат для моделювання людського мислення та людського способу вирішення задач. Нечітка множина - сукупність елементів будь-якої природи, щодо яких не можна з повною точністю стверджувати - належить елемент даних сукупності.

Теорія невизначених множин має справу з "людськими знаннями", які прийнято називати експертною інформацією. Характерним для нечіткого керування є безпосереднє застосування якісно сформулюються експертних знань для генерації керуючих впливів на об'єкт управління. Знання про взаємодію нечіткого регулятора з об'єктом (процесом) управління представляються у формі правила у вигляді: **ЯКЩО** (вихідна ситуація), **ТО** (вхідна реакція). Такі правила відповідають найпростішій формі людських

взаємодій. цьому аналізовані параметри розглядається в якості лінгвістичного змінного, які оцінюються якісні терми [30].

Для створення нечіткої системи керування було обрано керування концентрацію меркаптанів в бензині на виході з екстрактора. Керувальним впливом буде співвідношення витрат лужного розчину та бензину.

Фрагмент схеми автоматизації з вказаним контуром керування наведено на рис. 4.6.

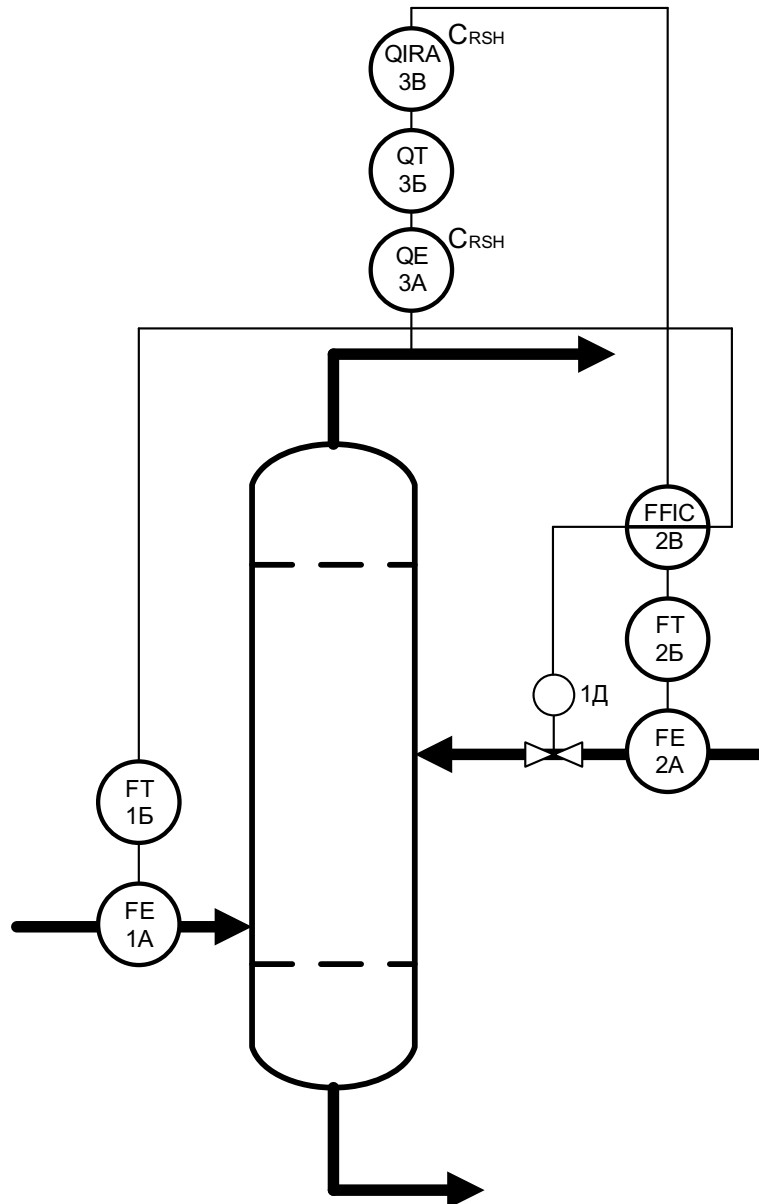


Рис. 4.6. Система автоматизації екстрактором

Для керування нам необхідно визначити дві лінгвістичні змінні: F – співвідношення витрат лужного розчину та бензину, C - концентрація сіркових сполук у бензині на виході з екстрактора. Універсум співвідношення витрат $F = 0.3 \dots 0.75$ кг/год, універсум концентрації сіркових сполук $C = 0.004 \dots 0.006$ %. За терм-множину першої лінгвістичної змінної «Концентрація меркаптанів у бензині після екстрактора» візьмемо множину $T1 = \{\text{«Мала»}, \text{«Нормальна»}, \text{«Велика»}\}$, за терм-множину другої лінгвістичної змінної «Співвідношення витрат лужного розчину та бензину» візьмемо множину $T2 = \{\text{«Мале»}, \text{«Нормальне»}, \text{«Велике»}\}$.

Опишемо їх:

Мала

Лінгвістична змінна: <Концентрація ; Нормальна; $0.004 < C < 0.006$ >

Велика

Лінгвістична змінна: < Співвідношення витрат лужного розчину та бензину;

Мале

Нормальне; $0.3 < F < 0.75$ >

Велике

Сформулюємо нечіткі правила керування:

- ЯКЩО [Концентрація меркаптанів «Мала», ТО [Співвідношення витрат лужного розчину та бензину «Мале»];
- ЯКЩО [Концентрація меркаптанів «Нормальна», ТО [Співвідношення витрат лужного розчину та бензину «Нормальне»];
- ЯКЩО [Концентрація меркаптанів «Велика», ТО [Співвідношення витрат лужного розчину та бензину «Велике»];

Для реалізації нечіткої логіки ми будемо використовувати програмний пакет Fuzzy Logic Toolbox, який є частиною програми Matlab. На рис. 4.7. зображено вікно редактора якому ми створюємо нечіткий регулятор.

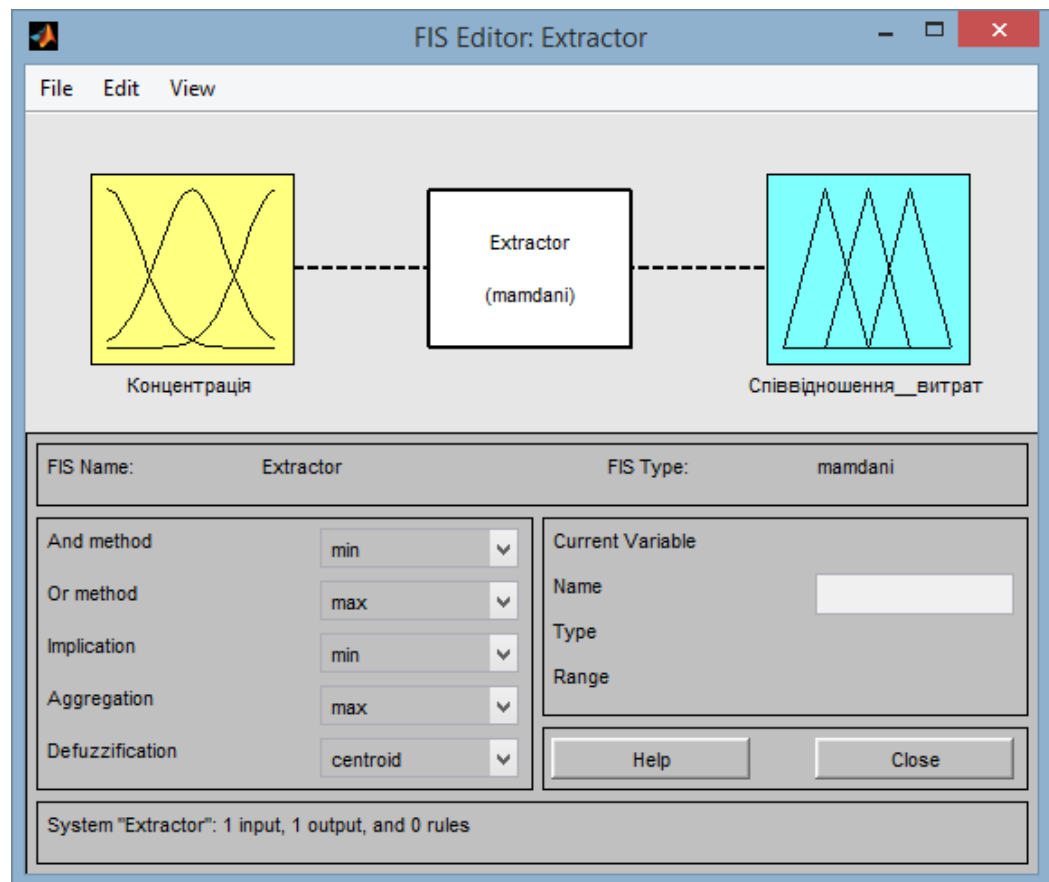


Рис. 4.7. Створення нечіткого регулятора в пакеті Fuzzi Logic Toolbox

Далі для кожної лінгвістичної змінної ми створюємо функцію належності. На рисунках нижче показано функції належності для концентрації та співвідношення витрат.

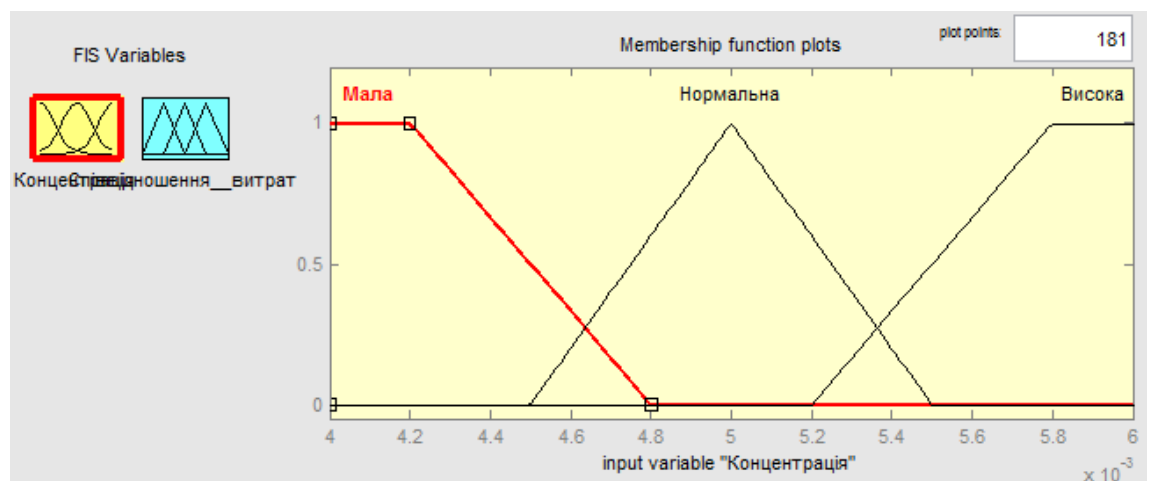


Рис. 4.8. Графіки функцій належності змінної – Концентрація

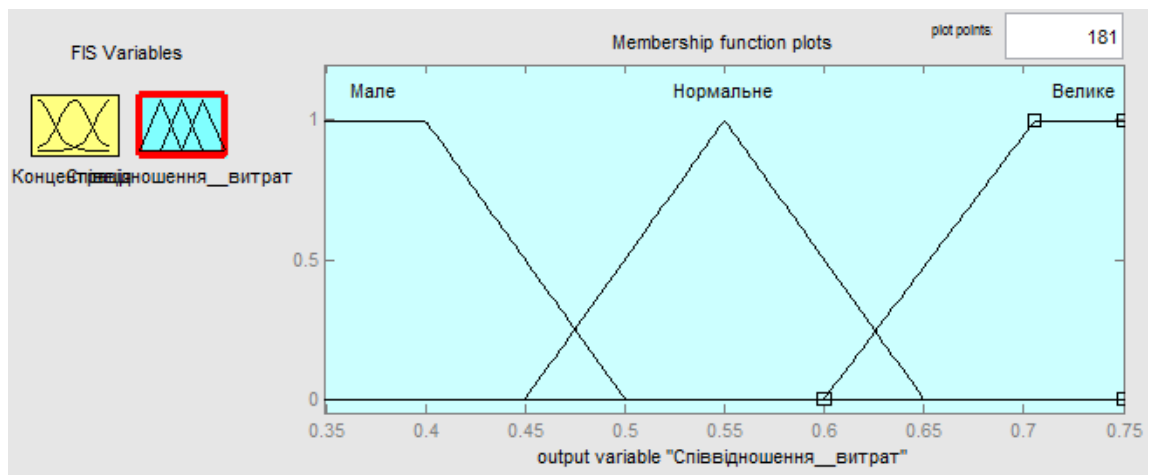


Рис. 4.9. Графіки функцій належності змінної – Співвідношення витрат

Після цього нам необхідно занести правила, які були описані вище у редактор. Для цього нам необхідно натиснути кнопку «Add rules», після чого ми відкриється вікно де ми можемо задати правила. Результат роботи показано на рис. 4.10.

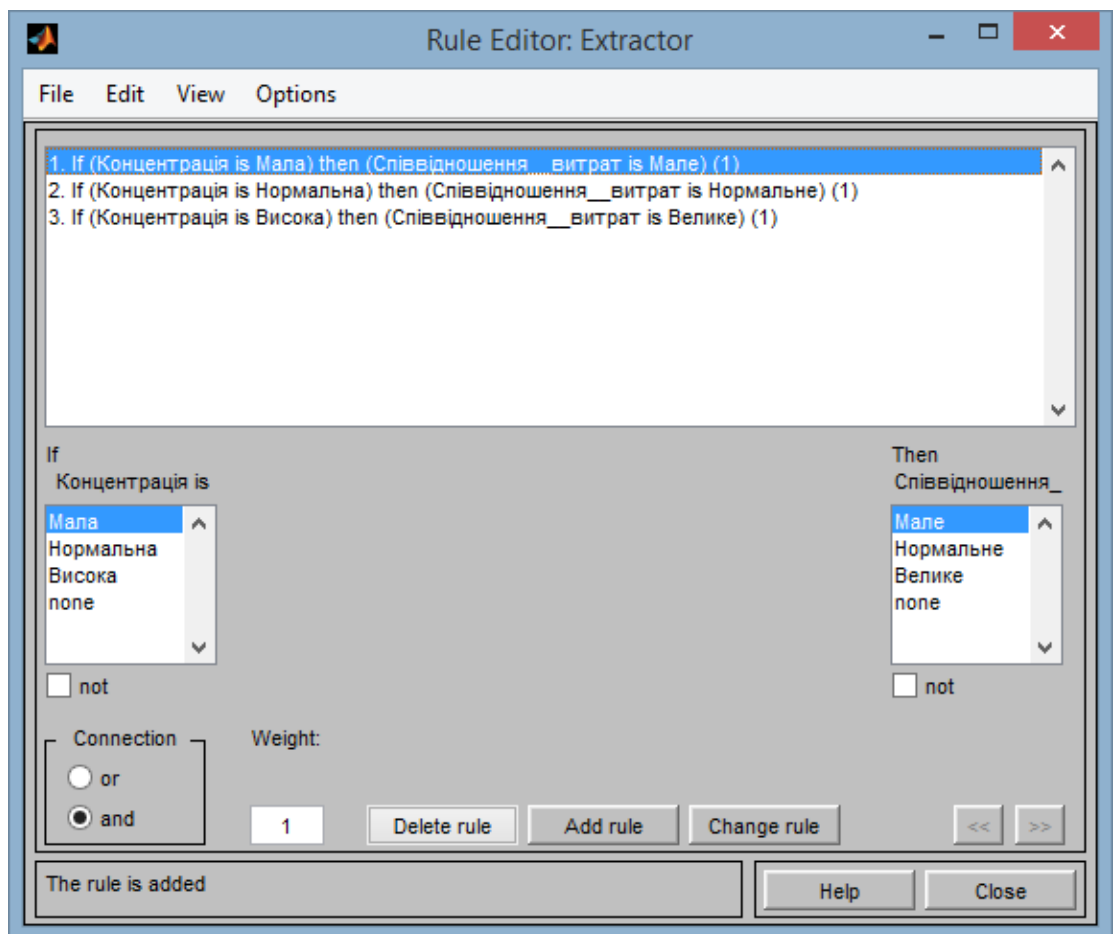


Рис. 4.10. Вікно редактора правил

Після описаних вище процедур на рис. 4.11. ми можемо переглянути результат використання правил продукції.

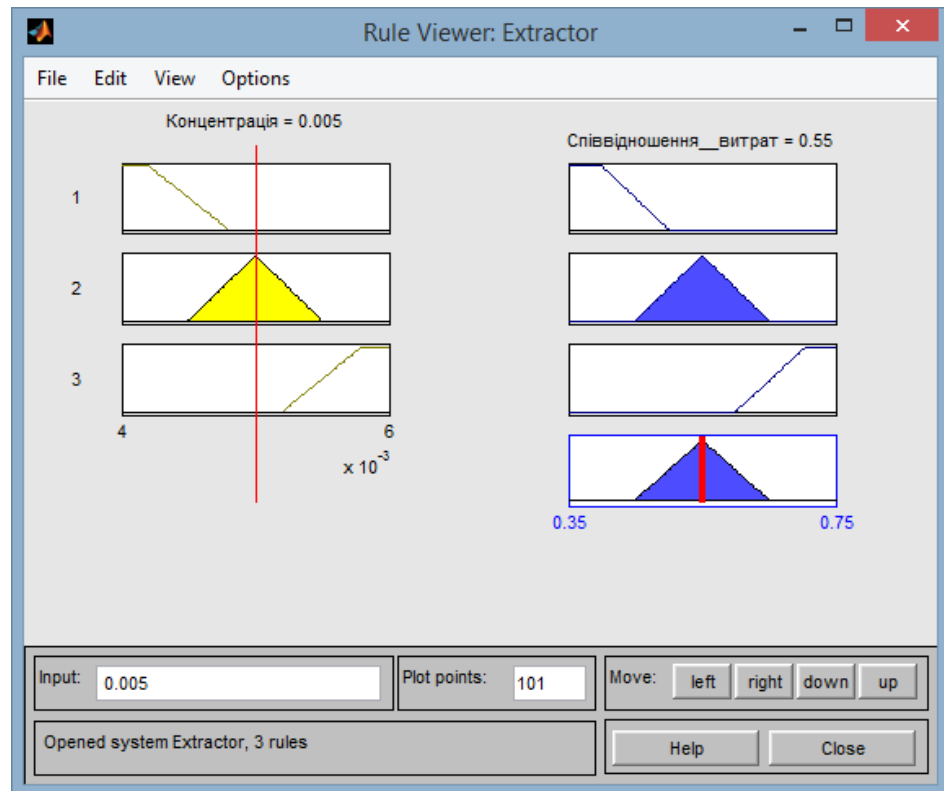


Рис. 4.11. Результат використання правил продукції

На рис. 4.12. ми можемо побачити поверхні нечіткого висновку.

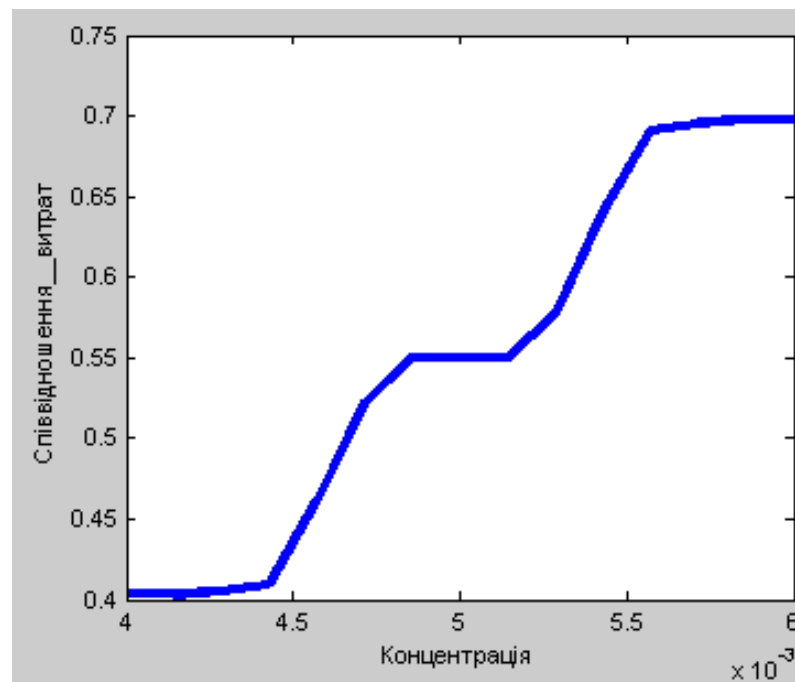


Рис. 4.12. Вікно перегляду поверхні нечіткого висновку

Висновки до розділу 4

У 4 розділі було синтезовано дві системи керування : системи керування барботажним реактором та екстрактором.

Для системи керування барботажним реактором налаштовано ПІ та ПІД-регулятор за допомогою вбудованого в *Matlab* засобу *PIDTuningToolbox*. Проведено порівняння результатів налаштування проведених автоматично та вручну.

Розроблено нечітку систему керування концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора. Визначено лінгвістичні змінні та сформульовано правила нечіткого висновку. Система реалізована за допомогою в *Matlab* засобу *Fuzzy Logic Toolbox*.

Отримані системи керування забезпечують ресурсозбереження та якість продуктів відповідно до встановлених норм.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Ідея та опис стартапу

Опис ідеї в обсязі 20 слів: Встановлення систем очищення бензину від сіркових сполук.

Опис ідеї в обсязі до 150 слів: Надання послуг по встановленню систем очищення бензину від сіркових сполук на НПЗ. Компанія буде надавати гарантію на систему очищення та її обслуговування, а також послуги з ремонту чи заміни апаратів.

Назва: Clean Gasoline

Логотип проекту зображено на рис. 5.1.



Рис. 5.1. Логотип стартап проекту

Цільова аудиторія: НПЗ

Монетизація: За рахунок надання платних послуг.

Потреби: Встановлення систем очищення бензину.

Конкуренти: Інші інженерні компанії.

Конкурентна перевага: Швидкість та ціна, гарантія.

Гроші: 5 млн грн. на оренду приміщення, закупівлю апаратів, вимірювальну та мікропроцесорну техніку, допоміжні прилади, написання програмного забезпечення.

Команда: Директор, бухгалтер, головний інженер, команда інженерів, електрик, програміст.

5.2. Аудит динаміки та тенденції ринку нафтопереробки

Низхідна тенденція в динаміці первинної переробки нафти значною мірою зумовлена зменшенням обсягів капітальних інвестицій у продукти нафтопереробки. За період 2001–2016 років у питанні капітальних інвестицій у виробництво коксу та продуктів нафтопереробки спостерігалось два основних тренди (у 2001–2007 – висхідний; у 2008–2016 – низхідний). Номінальне збільшення обсягу капітальних інвестицій у виробництво коксу та продуктів нафтопереробки у 2002–2007 роках пов’язане із стабілізацією розвитку національної економіки, а також із частковим наведенням ладу в паливно-енергетичному комплексі. У 2007-му порівняно з 2002-м обсяги капінвестицій у виробництво коксу та продуктів нафтопереробки зросли у 3,7 рази.



Рис. 5.2. Динаміка інвестицій

Як видно з графіку в останні роки збільшуються інвестиції в галузь нафтопереробки. Ринок нафтопереробки поступово збільшується. Це означає, що держава та інвестори вкладають гроші у модернізацію НПЗ. Що є гарним знаком для нашого стартапу.

5.3. Аналіз маркетингового середовища

5.3.1. Аналіз внутрішнього середовища

Загальна інформація про компанію:

історія розвитку підприємства

- компанія заснована Бородіним Олексієм у 2018 році.

Товарний портфель (асортимент товарів та послуг):

- встановлення систем очищення бензину.

- надання послуг з модернізації та ремонту.

Географічне розташування підприємства:

04111, Вул. Богдана Хмельницького, 10.

Корпоративні стандарти:

- надання якісних послуг на строго обговорених умовах

Ресурси і обмеження:

- приміщення

- робітники

- обладнання.

Ринкова історія товару: в останні роки збільшилась кількість інвестицій у нафтопереробку визначення етапу життєвого циклу товару.

Узагальнено розглядається динаміка розвитку галузі.

Основні оператори ринку: інженерні компанії, команди внутрішні команди обслуговування НПЗ.

Економічні та соціальні тенденції ринку: в останні роки ринок поступово зростає.

Характеристики ринку: ринок постійно зростає, зараз його вартість складає близько 1000 млн. доларів США.

Викладена вище загальна інформація систематизується у вигляді переліку факторів внутрішнього маркетингового середовища фірми за такими групами:

Організаційно-правові:

1. Форма власності – приватне підприємство
2. Форма організації – компанія
3. Організаційна структура – лінійна
4. Система менеджмента – стратегічний менеджмент
5. Стиль керівництва – демократичний

Ресурси:

1. Фінансові - гроші інвесторів
2. Виробничі та складські потужності - необхідні ресурси у вигляді приміщення для обладнання.
3. Технології – використовуються сучасні технології.
4. Інформаційні – індивідуальні та колективні знання спеціалістів, розробки та дослідження, практичні моделі.
5. Трудові – команда інженерів, електриків та програмістів.
6. Інтелектуальні – знання та навички спеціалістів, програмне забезпечення.
7. Правові - документи на нашу інтелектуальну власність та інші документи, які необхідні для початку роботи.

Таблиця 5.1. Аналіз внутрішнього маркетингового середовища підприємства

Внутрішні фактори	Вплив фактору		Симптоми проблеми/можливості
	Можливості	Загрози	
Стратегія розвитку компанії	Швидке зростання	Неефективне керування	Компанія рухається у неправильному напрямку
Кадри	Якісне виконання роботи	Неякісне виконання роботи	Якість роботи працівників є незадовільною
Фінанси	Забезпечення ефективного функціонування компанії	Неможливість виконувати роботу	Відсутність доходів та фінансів для функціонування компанії

5.3.2. Аналіз зовнішнього середовища

Таблиця 5.2. Підсумкова таблиця факторів політико-правового середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Зміни в законі	Менший тиск бюрократичного апарату, зменшення податків	Закон, що обмежить або заборонить нашу діяльність	Переміщення стартапу в іншу країну.
Профспілки	Покращення умов праці та відпочинку робітників	Тиски на керівництво, страйки	Укладення чіткої колективної угоди.

Таблиця 5.3. Підсумкова таблиця факторів економічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Рівень інфляції	Зміцнення нац. валюти матиме позитивний вплив на бізнес	Зменшення доходів, втрата клієнтів	Ефективний розподіл витрат.
Рівень цін	Збільшити ціну	Необхідність зменшення ціни через втрату інтересу до нас	При високому рівні цін ціна на наші послуги може бути завищеною.
Обсяг ВВП та його динаміка	Можливість збільшити обсяг розробок	Зниження інтересу до нас через відсутність інвестицій	Розробка ефективної стратегії керування підприємством.
Купівельна спроможність (КС)	Можливість збільшити обсяг розробок	Втрата клієнтів через їх низьку КС	Пошук інших ринків та клієнтів

Таблиця 5.4. Підсумкова таблиця факторів науково-технічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Розвиток інформаційних технологій	Покращення послуг, нові клієнти	Поява конкурентів	Розвиток ІТ може допомогти нам розширити коло наших клієнтів та запровадити нові технології у нашому бізнесі.
Нові товари	Розширення послуг	Поява конкурентів	Конкурувати зможемо за рахунок досвіду, репутації та впровадження нових ідей
Нові технології	Розширення послуг	Поява конкурентів	Запровадження додаткових послуг за рахунок нових технологій

Таблиця 5.5. Підсумкова таблиця факторів демографічного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Чисельність населення	Особливого впливу не спостерігається	Особливого впливу не спостерігається	Зменшення кількості населення може зменшити кількість клієнтів, але не суттєво
Народжуваність	Особливого впливу не спостерігається	Особливого впливу не спостерігається	
Кваліфікація трудових ресурсів	Збільшення інтересу до наших послуг	Нестача кадрів	Пошук та боротьба за кваліфікованого робітника

Таблиця 5.6. Підсумкова таблиця факторів соціо-культурного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Спосіб життя	Збільшення кількості зацікавлених в продукті		НПЗ захочуть модернізувати своє обладнання
Мода	Особливого впливу не спостерігається	Особливого впливу не спостерігається	
Життєвий рівень населення	Збільшення кількості зацікавлених в продукті	Втрата клієнтів	Переорієнтування на інших клієнтів

Таблиця 5.7. Підсумкова таблиця факторів природного середовища.

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Стихійні лиха	Специфіка бізнесу не дозволяє винести зиск зі стихійного лиха	Зупинка роботи	Потрібно швидко знайти альтернативні події.

5.3.3. Аналіз факторів мікроркетингового середовища

Таблиця 5.8. Підсумкова таблиця впливу споживачів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Демографічні та соціально-психологічні характеристики покупця	Особливого впливу не спостерігається	Особливого впливу не спостерігається	
Обсяг купівельного попиту	Додатковий прибуток	Низька зацікавленість в продукті	Пошук аудиторії, яка зацікавлена в продукті
Чутливість покупця до ціни та якості		Незадоволення якістю послуги	Покращення якості послуг

Таблиця 5.9. Підсумкова таблиця впливу конкурентів

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Кількість конкурентів	Велика кількість конкурентів вимагає впровадження сучасних технологій та пошуку більш ефективних рішень	Втрата клієнтів та бізнесу	Навчитися конкурувати з великою кількістю компаній.
Слабкі і сильні сторони конкурентів	Можливість поглинання конкурента	Програти конкуренцію та піти з бізнесу	Потрібно постійно аналізувати якості конкурента, щоб мати можливість пропонувати кращі рішення.
Наявність лідерів	Можливість запозичення ідей, економії на дослідженнях	Займати дуже малу частину ринку через непохитні позиції ринку	Пошук аудиторії, якій не підходять послуги лідера ринку

Таблиця 5.10. Підсумкова таблиця впливу постачальників

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Якість та ціна продуктів	Знайти більш вигідного постачальника	Незадовільна якість	Розробити власні технології

Таблиця 5.11. Підсумкова таблиця впливу контактних аудиторій

Фактори	Вплив фактору		Альтернативні шляхи вирішення проблеми чи реалізації можливості
	Можливості	Загрози	
Основні контактні аудиторії фінансової сфери, засобів інформації, органів державної влади і управління	Зацікавлення великої аудиторії фінансової сфери	Тиск на бізнес	Шукати шляхи врегулювання конфлікту.
Широка публіка	Збільшення аудиторії	Можлива поява конкурентів або критиків	Можливість тиску з боку релігійних або громадських організацій, політ. партій тощо
Внутрішні контактні аудиторії	Покращення якості роботи	Погіршення якості роботи	Пошук шляхів побудови ефективного колективу в компанії

5.3.4. Формування управлінської проблеми

Таблиця 5.12.- SWOT- аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
Якість продукту Надійність Швидкість	Необхідність в значних інвестиціях
Можливості	Загрози
Зайняти велику частину ринку Продати стартап більшій компанії	Не окупити інвестиції Не зацікавити цільову аудиторію

Таблиця 5.13. Слабкі та сильні сторони альтернативних шляхів

Альтернативи	Слабкі сторони	Сильні сторони
1. Найняти компанію, що надасть послуги реклами та маркетингу	Необхідні додаткові кошти	Важливий шмат роботи виконають професіонали
2. Партнерство з іншою установою	Втрата незалежності	Доступ до ресурсів партнера, зокрема до його клієнтів
3. Спроба продати стартап на перших стадіях	Втрата можливості надалі заробляти на ідеї	Отримання коштів незалежно від результату

5.4. Конкурентний аналіз компанії

Таблиця 5.14. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства та можливі дії
1. Тип конкуренції - чиста	Чиста конкуренція. Немає компаній які повністю завоювали ринок у цій області.	Це спонукає нас виконувати роботу якісно.
2. Рівень конкурентної боротьби - національний	На перших етапах розвитку стартапу ми будемо працювати у межах України.	Необхідність пристосування до умов українського ринку та законодавства.
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Стартап працюватиме у сфері надання послуг.	Зосередження на одній галузі.
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Товарно-видова конкуренція	Допомагає надавати більший спектр послуг.
5. Характер конкурентних переваг - неціновий	Конкурентна перевага і цінова і нецінова. Якість продукту та її цінова категорія.	Потрібно виграти боротьбу за клієнта і довести свої переваги.
6. За інтенсивністю – не марочна	Товар не має маркування	Послуга надається в залежності від замовлення клієнта.

Таблиця 5.15. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Інженерні компанії	Правовий захист, який забезпечують патенти, необхідні капіталовкладення	Для надання наших послуг ми залежимо від постачальників	НПЗ	Нашу послуги можуть надати інші агенства.
Висновки :	Ринок великий і зростає, що дає нам змогу конкурувати та боротися за споживача.	Можливості виходу на ринок є, не зважаючи на існуючих конкурентів	Нам необхідні постачання обладнання	В нас вузький спектр клієнтів	Обмеження мінімальні. Ринок зростає, тому можливо посісти своє місце

Таблиця 5.16. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
1	Наявність інформаційного сайту	Замовники можуть переглянути весь спектр послуг на сайті.
2	Робота у багатьох векторах.	Не лише встановлюємо системи очищення, а й ремонтуємо їх

Таблиця 5.17. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з SS						
			3	2	1	0	1	2	3
1	Наявність інформаційного сайту	5			+				
2	Робота у багатьох векторах.	2				+			
3	Якість	10					+		
4	Ціна	5				+			

5.5. Ринкові стратегії стартап-проекту

Таблиця 5.18. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	НПЗ	Висока	90%	Конкуренція невисока	Спілкування напряду з представниками цільової аудиторії

Таблиця 5.19. Визначення базової стратегії розвитку

№	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1	Підписання довгострокових контрактів	Стратегія диференційованого маркетингу	Супровід систем, їх технічне обслуговування, навчання персоналу.	Стратегія диференціації

Таблиця 5.20. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№	Чи є проект «першо-рохцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1	ні	Цей сегмент є нашим партнером, тому ми будемо пронувати себе.	Ні, послуги будуть виконуватися згідно нашого бачення.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 5.21. Визначення стратегії позиціонування

№	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
1	Висока якість послуг	Стратегія диференціації	Якість послуг	Гарна репутація, інтенсивність покупки послуг

Висновки до розділу 5

У розділі 5 магістерської дисертації проведено детальний аналіз ринку споживачів та товарів, аналіз маркетингового середовища компанії Clean Gasoline та аналіз зовнішнього середовища, враховуючи конкурентів що діють на ринку. На основі проведених аналізів для компанії був розроблений стратегічний план розвитку та сформульований управлінський напрямок роботи. Окрім цього було проведено конкурентний аналіз на основі якого виділено сильні та слабкі сторони компанії.

ВИСНОВКИ

В даній магістерській дисертації був розглянутий і проаналізований процес очищення бензину від сіркових сполук. Проаналізовано існуючі системи керування екстрактора і барботажного реактора та і схожих за процесами апаратів. Відповідно до особливостей процесу виробництва було розроблено схему автоматизації, принципову електричну схему дистанційного керування двигунами та монтажно-комутаційну схему.

Розроблено програмне забезпечення керування процесом екстракції на основі SCADA-системи TraceMode.

Було проведено аналіз існуючих моделей барботажного реактора та проведено експериментальні дослідження за результатами яких, були знайдені динамічні характеристики процесу, а також було досліджено зміну властивостей каталізатора в часі, за результатами, яких були викладені рекомендації щодо відновлення каталізатора та врахування зміни коефіцієнту передачі для передавальної функції по каналу керування.

Виконані процедури з налаштування ПІ та ПІД-регуляторів для системи керування концентрацією NaOH на виході з барботажного реактора.

Розроблено нечітку систему керування концентрацією сіркових сполук на виході з екстрактора.

Отримані системи керування забезпечують ресурсо- та енергозбереження за рахунок зменшення часу перехідного процесу та якість продуктів відповідно до встановлених норм.

Розроблено стартап-проект компанії з встановлення систем очищення бензину на НПЗ.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Черножуков Н.И. Технология переработки нефти и газа. Часть 3. Очистка нефтепродуктов и производство специальных продуктов. – М.: Химия, 1966. – 352 с.
2. Лаутеншлегер К. -Х. Химия: Справочное издание [Текст] / К. -Х. Лаутеншлегер, В. Шретер, Х. Бибрак. – М.: Химия, 1989. – 648 с. – Библиогр.: с. 503. – 60000 экз. – ISBN 57245-0360-3.
3. А. с. 2641910 RU, МПК. С 01 G 29/20. Процесс очистки углеводородных сред от H_2S и/или меркаптанов [Текст] / Исиченко Игорь Валентинович (RU). – № 2017102696; заявл. 27.01.2017; опубл. 23.01.2018, Бюл. № 3. – 22 с. : ил.
4. Гиндин Л. М. Экстракционные процессы и их применение [Текст] / Л. М. Гиндин. – М.: Наука, 1984 . – 144 с. – Библиогр.: с. 5. – 1450 экз.
5. Соснин О. М. Основы автоматизации технологических процессов и производств : учебное пособие для высших учебных заведений / О. М. Соснин. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 240 с.
6. Demerus naphtha: очистка бензина: [Электронный ресурс]. URL: <http://ahmadullins.com/tech/demerus/ochistka-benzina>.
7. Иванова Г.В. Автоматизация технологических процессов основных химических производств: Методическое пособие. Часть 1/ СПбГТИ(ТУ).-СПб., 2003.- 70с.
8. Бородин О. І., Дослідження екстрактора як об'єкта керування у процесі очищення бензину від меркаптанів [Текст] / Бородин О. І., Ярощук Л. Д. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей Десятої науково-практичної конференції студентів; Київ, НТТУ «КПІ», 8-9 грудня 2016 р., м. Київ / за заг. ред. А. І. Жученка. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2016. – 92 с.: іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – 100 пр.
9. Беспалов А.В., Харитонов Н.И. Системы управления химико-технологическими процессами. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. – 690 с.

10. Шински Ф. Системы автоматического регулирования химико-технологических процессов. Пер. с англ. под. ред. Н. И. Гельперина. М., «Химия», 1974.
11. Фёдоров А.Ф., Кузьменко Е.А. Системы управления химико-технологическими процессами. Учебное пособие, 2009.
12. Казаков А. В., Кулаков М. В., Мелюшев Ю. К. Основы автоматики и автоматизации химических производств. Учебное пособие для вузов. М., «Машиностроение». 1970, стр. 376.
13. Михаил Р. Реакторы в химической промышленности [Текст] / Р. Михаил, К. Кырлогану. – Ленинград: Химия, 1968. – 388 с. – Библиогр.: с. 141–142. – 1450 экз.
14. Н. В. Верниковская, Ю. В. Малоземов, С. А. Покровская. Каталитические процессы в реакторах с неподвижным слоем: Учебно-методическое пособие для компьютерного курса по инженерной химии каталитических процессов / Новосиб. гос. ун-т. Новосибирск, 2008. 68с.
15. Голубятников В. А., Шувалов В. В. Автоматизация производственных процессов в химической промышленности: Учебн. Для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1985. –352 с., ил.
16. Вейлас С. Химическая кинетика и расчеты промышленных реакторов [Текст] . – Москва: Химия, 1964. – 432 с.
17. Siemens. Микроконтроллер Siemens Simatic S7 -1200. Информация по продукту [Текст].
18. Siemens. Программируемые контроллеры S7-1200 [Текст].
19. Invensys. Контрольно-измерительные приборы Foxboro. Каталог продукции [Текст]: каталог : разработчик и производитель предприятие Invensys.
20. Кудинов Н.В. Разработка учебных проектов АСУТП в среде пакета Trace Mode: учебное пособие [Текст] / Н.В. Кудинов, Р.А. Нейдорф, Н.С.

Соловей. – Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. – 117 с.: ил.

21. Мезенцев А.А. М44 САПР TRACE MODE 6: учебно-методическое пособие / А.А. Мезенцев, В.М. Павлов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 137 с.

22. Кабанов А. А. Программирование в среде Трейс Моуд: учебно-методическое пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2006. 32 с.

23. Бородин О. І., Програмне забезпечення для керування екстрактором на основі SCADA-системи Trace Mode [Текст] / Бородин О. І., Ярощук Л. Д. // Матеріали V Міжнародної науково-технічної Internet-конференції «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем керування організаційно-технічними та технологічними комплексами», 22 листопада 2018. [Електронний ресурс] – К: НУХТ, 2018 – 360 с. — Режим доступу: <http://nuft.edu.ua/page/view/konferentsii>

24. Jolius Gimbut. Assessment of the turbulence models for modelling of bubble column. Faculty of Chemical and Natural Resources Engineering, Universiti Malaysia Pahang, Lebuhraya Tun Razak, 26300 Gambang, Pahang.

25. Fleischer, C., Becker S., Eigenberger, G., 1996. Detailed modelling of the chemisorption of CO₂ into NaOH in a bubble column, Chemical Engineering Science, 51, 1715-1724.

26. Bauer, M., Eigenberger, G., 1999. A concept for multi-scale modelling of bubble columns and loop reactors, Chemical Engineering Science, 54, 5109-5117.

27. Xiaobo Gong, Shu Takagi, Huaxiong Huang, Yoichiro Matsumoto. Numerical study of mass transfer of ozone dissolution in bubble plumes with an Euler-Lagrange Method. Department of Mechanical Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113-8656, Japan.

28. Бородин О. І., Організація експериментальних досліджень реактора для визначення моделі динаміки [Текст] / Бородин О. І., Ярощук Л. Д. // Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології: Тези доповідей

Дванадцятій науково-практичній конференції студентів; Київ, КПІ ім. Ігоря Сікорського, 05-06 грудня 2018 р. [Електронний ресурс]. – 90 с. : іл. – Бібліогр.: в кінці тез. – Режим доступу: [http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018\(winter\).pdf](http://ahv.kpi.ua/conferences/ACIT-2018(winter).pdf) – вільний.

29. Дьяконов В. П., Круглов В. В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник. СПб.: Питер, 2002. – 448 с.

30. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [Текст] / В. И. Гостев. – К.: «Радіоаматор», 2008. – 972 с. – Бібліогр.: с. 944–966. – 300 экз. – ISBN 978-966-96178-2-0.

Додатки

Таблиця Д1. Експериментальні дані

№	Час, с	Витрата повітря, м ³ / год	Температура лужного розчину, °С	Витрата лужного розчину кг/ год	Концентрація, NaOH %
1	0	1000	61	4,41	10,02
2	100	1000	59	4,49	10,05
3	200	1000	59	4,41	9,98
4	300	1000	59	4,42	10,01
5	400	1000	60	4,62	10,06
6	500	1000	60	4,56	10,00
7	600	1000	61	4,52	10,03
8	700	900	61	4,53	9,90
9	800	900	60	4,57	9,74
10	900	900	61	4,53	9,65
11	1000	900	59	4,62	9,67
12	1100	900	60	4,42	9,59
13	1200	900	58	4,55	9,50
14	1300	900	61	4,50	9,48
15	1400	900	60	4,54	9,34
16	1500	900	60	4,56	9,25
17	1600	900	61	4,45	9,09
18	1700	900	58	4,43	9,01
19	1800	900	61	4,56	8,94
20	1900	900	60	4,47	9,04
21	2000	900	61	4,46	9,02
22	2100	900	61	4,45	8,99
23	2200	900	61	4,62	9,01

24	2300	900	61	4,42	9,02
25	2400	900	60	4,48	8,98
26	2500	900	60	4,52	9,00
27	2600	800	60	4,44	8,94
28	2700	800	60	4,63	8,95
29	2800	800	61	4,53	8,90
30	2900	800	59	4,38	8,81
31	3000	800	61	4,57	8,83
32	3100	800	61	4,46	8,80
33	3200	800	61	4,60	8,63
34	3300	800	60	4,53	8,60
35	3400	800	60	4,50	8,52
36	3500	800	60	4,64	8,41
37	3600	800	59	4,49	8,40
38	3700	800	60	4,46	8,31
39	3800	800	60	4,37	8,23
40	3900	800	61	4,46	8,10
41	4000	800	58	4,63	8,02
42	4100	800	60	4,53	7,98
43	4200	800	59	4,45	8,01
44	4300	800	60	4,45	8,03
45	4400	800	59	4,48	8,00
46	4500	800	60	4,49	7,97
47	4600	800	59	4,53	8,02
48	4700	800	60	4,49	8,01
49	4800	800	60	4,50	8,03
50	4900	800	60	4,47	7,99
51	5000	900	60	4,56	8,08

52	5100	900	61	4,56	8,11
53	5200	900	60	4,49	8,15
54	5300	900	59	4,50	8,20
55	5400	900	61	4,43	8,32
56	5500	900	60	4,47	8,40
57	5600	900	59	4,54	8,42
58	5700	900	59	4,36	8,55
59	5800	900	60	4,47	8,71
60	5900	900	60	4,56	8,69
61	6000	900	61	4,42	8,80
62	6100	900	61	4,55	8,91
63	6200	900	58	4,56	8,97
64	6300	900	59	4,49	8,99
65	6400	900	62	4,50	9,03
66	6500	900	59	4,61	9,02
67	6600	900	62	4,50	9,01
68	6700	900	62	4,50	8,97
69	6800	900	59	4,48	8,99
70	6900	900	60	4,49	9,01
71	7000	900	58	4,52	9,00
72	7100	1000	58	4,42	9,03
73	7200	1000	59	4,44	9,10
74	7300	1000	61	4,38	9,11
75	7400	1000	58	4,66	9,18
76	7500	1000	59	4,44	9,25
77	7600	1000	60	4,44	9,45
78	7700	1000	60	4,53	9,52
79	7800	1000	61	4,39	9,56

80	7900	1000	60	4,47	9,67
81	8000	1000	59	4,46	9,74
82	8100	1000	60	4,42	9,80
83	8200	1000	59	4,51	9,79
84	8300	1000	60	4,55	9,88
85	8400	1000	61	4,55	9,96
86	8500	1000	61	4,49	9,99
87	8600	1000	59	4,57	10,02
88	8700	1000	60	4,46	10,03
89	8800	1000	62	4,53	10,01
90	8900	1000	59	4,42	9,98
91	9000	1000	60	4,51	10,04
92	9100	1000	60	4,54	10,02
93	9200	1000	62	4,38	9,99
94	9300	1000	59	4,49	10,03
95	9400	1000	60	4,48	10,00
96	9500	1000	60	4,58	9,98
97	9600	1000	61	4,48	10,03

Специфікація технічних засобів автоматизації

Вимірювання тиску

Позиція на схемі	Назва параметра	Середовище, місце відбору інформації	Граничне значення па-ра	Місце монтажу	Назва та характеристика	Тип моделі	К-сть	Завод виробник
1	2	3	4	5	6	7	8	9
16А	Тиск	Трубопровід, бензин	—	Трубопровід	Інтелектуальний датчик абсолютного тиску, границя вимірювання 0...2.1 МПа, точність виміру до 0,05% діапазону виміру, I _{вих} =4...20 мА	IDP10	3	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
17А		Трубопровід, повітря						
18А		Трубопровід, бензин						
16Б 17Б 18Б	Тиск	—	—	Щит керування	Індикатор технологічний мікропроцесорний, вхідні сигнали: 4...20 мА;	ITM-11	3	МІКРОЛ, Україна, 76495, м. Івано-Франківськ

Вимірювання температури

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6A 14A	Температура	Трубопровід	-70...150 °C	Трубопровід	Перетворювач температури I/A Series®, діапазон вимірювання - 20...150 °C, основна похибка 0,05 %, L=100 мм, вихід по протоколу Profibus	RTT15	2	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
6Б 14Б	Температура	—	—	По місцю	Електропневматичний перетворювач з протоколом Profibus, вхід Profibus; тиск повітря живлення до 6 бар	SRD960	2	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
6B 14B	Температура	—	—	По місцю	Регулюючий клапан з пневмоприводом ADCATROL	ADCATR OL PV16G	2	ADCATR OL, Португалія 3105-467

Вимірювання витрати

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1A	Витрата	Трубопровід, забруднений бензин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 100 мм	СО- 444А	7	Invensys Operatio ns Manage ment Россия, 123022, Москва
2A	Витрата	Трубопровід, лужний розчин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 50 мм			
5A	Витрата	Трубопровід, очищений бензин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 100 мм			
7A	Витрата	Трубопровід, насичений меркаптидами лужний розчин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 100 мм			
8A	Витрата	Трубопровід, повітря	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 25 мм			
11A	Витрата	Трубопровід, регенерований лужний розчин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 50 мм			
12A	Витрата	Трубопровід, бензин	—	Трубопровід	Компактна вимірювальна діафрагма, температура вимірювального середовища -40...+232 °С, внутрішній діаметр трубопроводу 50 мм			

1Б 2Б 5Б 7Б 8Б 11Б 12Б	Витрата	—	—	Місцевий	Інтелектуальний датчик перепаду тиску, границі вимірювання -0.21...2.1 МПа, точність виміру до 0,05% діапазону виміру, вихід по протоколу Profibus	IDP10	7	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
2В	Витрата	—	—	Щит керування	Програмований логічний контролер Siemens SIMATIC S7 1200, з функцією реєстрації та сигналізації; входи Profibus, RS-485; виходи Profibus.	S7 1200	1	ДП «Сіменс Україна», Україна, Київ, 03680
2Г 8Г 12Г	Витрата	—	—	По місцю	Електропневматичний перетворювач з протоколом Profibus, вхід Profibus; тиск повітря живлення до 6 бар	SRD960	3	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
2Д 8Д 12Д	Витрата	—	—	По місцю	Регулюючий клапан з пневмоприводом ADCATROL, діапазон діаметрів від 10 до 150 мм.	ADCATROL PV16G	3	ADCATROL, Португалія 3105-467

Вимірювання рівня

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10A	Рівень	Сепаратор повітря	—	Корпус Сепаратора повітря	Буйковий перетворювач з торсійною трубкою для вимірювання рівня 244LD LevelStar	244LD	2	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
15A	Рівень	Сепаратор	—	Корпус сепаратора				
10Б	Рівень	—	—	По місцю	Електропневматичний перетворювач з протоколом Profibus, вхід Profibus; тиск повітря живлення до 6 бар	SRD960	1	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
10В	Рівень	—	—	По місцю	Регулюючий клапан з пневмоприводом ADCATROL	ADCAT ROL PV16G	1	ADCAT ROL, Португа лія 3105- 467

Концентрація

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3А	Концентрація	Трубопровід, бензин	—	Трубопровід	Контактний сенсор питомої електропровідності та питомого опору 871СС	871СС	4	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва
4А		Трубопровід, регенерований розчин						
9А		Трубопровід, лужний розчин						
13А		Трубопровід, лужний розчин						
3Б 4Б 9Б 13Б	Концентрація	—	—	По місцю	Електрохімічний перетворювач 876, вихідний сигнал 4..20 мА.	876	4	Invensys Operations Management Россия, 123022, Москва